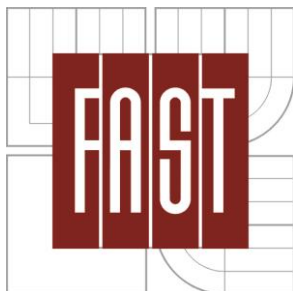


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VZDUCHOTECHNIKA ŠKOLSKÉHO OBJEKTU

VENTILATION OF THE EDUCATION BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MATOUŠ ZACHOVAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. PAVEL UHER, PHD.

BRNO 2016




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Matouš Zachoval
Název	Vzduchotechnika školského objektu
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Pavel Uher, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015


.....
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Dřochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

- práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony, vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb
- obsah a uspořádání práce dle směrnice FAST:

- a) titulní list,
- b) zadání VŠKP,
- c) abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce,
- d) bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690,
- e) prohlášení autora o původnosti práce, podpis autora,
- f) poděkování (nepovinné),
- g) obsah,
- h) úvod,
- i) vlastní text práce s touto osnovou:
 - A. Teoretická část – literární rešerše ze zadaného tématu
 - B. Výpočtová část
analýza objektu – rozdělení na funkční celky VZT, 2-3 zařízení zpracovaná v tématech:
 - tepelné bilance,
 - průtoky vzduchu, tlakové poměry
 - distribuce vzduchu,
 - dimenzování potrubí a tlaková ztráta,
 - úpravy vzduchu, návrh VZT jednotek (hx diagramy),
 - útlum hluku
 - C. Projekt – úroveň prováděcího projektu: výkresy dvoučarově, půdorysy + řezy (řešené místnosti, strojovna) legenda prvků, 1:50 (1:100) – budou uloženy samostatně jako přílohy, technická zpráva (tabulka místností, tabulka zařízení), položková specifikace, funkční (regulační) schéma
- j) závěr,
- k) seznam použitých zdrojů,
- l) seznam použitých zkratk a symbolů,
- m) seznam příloh,
- n) přílohy - výkresy

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
Ing. Pavel Uher, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá zhodnocením stavu vnitřního mikroklimatu školského objektu před a po rekonstrukci výplňových otvorů. Na základě vlastních uskutečněných měření je navrženo nucené větrání pomocí dvou vzduchotechnických zařízení, které zajistí požadované mikroklima všech učeben.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the evaluation of the current state indoor microclimate of educational object before and after the reconstruction of windows. On the basis of my own measurements there is designed a forced ventilation using two air-conditioning systems which ensure a required microclimate of all classrooms.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vzduchotechnika, nucené větrání, přirozené větrání, mateřská škola, základní škola, oxid uhličitý, textilní vyústky, syndrom nemocných budov

KEY WORDS

Air conditioning, forced ventilation, natural ventilation, kindergarten, primary school, carbon dioxide, textile diffuser, sick building syndrome

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZACHOVAL, Matouš. *Vzduchotechnika školského objektu*. Brno, 2016. 86 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební. Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Pavel Uher Ph.D.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....

podpis autora
Matouš Zachoval

Poděkování.

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Pavlu Uherovi Ph.D. za odbornou pomoc, ochotu, trpělivost a čas, který mi věnoval. Dále děkuji zřizovateli a zaměstnancům Základní a mateřské školy v Javornici za vstřícný přístup při řešení mé práce. Rovněž bych chtěl poděkovat mé rodině a přítelkyni za podporu při studiu a vytvoření potřebného zázemí.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	12
1.1 VĚTRÁNÍ ŠKOLNÍCH ZAŘÍZENÍ	12
1.1.1 POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ V MINULOSTI	12
1.1.2 SOUČASNÉ LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY	12
1.2 MIKROKLIMA BUDOV	14
1.2.1 TEPELNĚ VLHKOSTNÍ MIKROKLIMA	16
1.2.1.1 TEPLOTA VZDUCHU	16
1.2.1.2 VLHKOST VZDUCHU	17
1.2.1.3 RYCHLOST PROUDĚNÍ VZDUCHU	17
1.2.1.4 TEPELNĚ IZOLAČNÍ VLASTNOSTI ODĚVU	17
1.2.1.5 PRODUKCE TEPLA ČLOVĚKA	18
1.2.2 ODÉROVÉ MIKROKLIMA	21
2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....	27
2.1 UČEBNA Č. 1 – MALÁ UČEBNA	27
2.2 UČEBNA Č. 2 – VELKÁ UČEBNA.....	28
2.3 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ	37
3 PRAKTICKÁ ČÁST.....	38
3.1 ANALÝZA OBJEKTU	38
3.1.1 POPIS OBJEKTU	38
3.1.2 ROZDĚLENÍ OBJEKTU NA FUNKČNÍ CELKY	39
4 VÝPOČTOVÁ ČÁST	40
4.1 TEPELNÉ BILANCE	40
4.2 VÝPOČET DÁVKY VZDUCHU NA ŽÁKA DLE KONCENTRACÍ CO ₂	40
4.3 NÁVRH PŘIROZENÉHO VĚTRÁNÍ.....	41
4.3.1 VĚTRÁNÍ INFILTRACÍ	41
4.3.2 VĚTRÁNÍ OKNY	42
4.3.2.1 NÁVRH PŘIROZENÉHO VĚTRÁNÍ OTEVŘENÍM OKNA NA VENTILACI	43
4.3.2.2 NÁVRH NÁRAZOVÉHO VĚTRÁNÍ HORNÍ ČÁSTI OKNA	44
4.4 PRŮTOKY VZDUCHU A TLAKOVÉ POMĚRY	45
4.5 NÁVRH DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ VZDUCHU	47
4.5.1 ODVODNÍ PRVKY	47
4.5.2 PŘÍVODNÍ PRVKY	48
4.5.3 NÁVRH VĚTRACÍ MŘÍŽKY DO DVEŘÍ	50
4.6 DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ.....	51
4.7 NÁVRH VZT JEDNOTEK.....	53
4.8 ÚPRAVY VZDUCHU	54
4.9 ÚTLUM HLUKU	55
4.10 NÁVRH TEPELNÉ IZOLACE	63

5	TECHNICKÁ ZPRÁVA.....	65
5.1	ÚVOD.....	65
5.1.1	PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ	65
5.1.2	VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH POMĚRŮ	65
5.1.3	VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	65
5.2	ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	66
5.2.1	HYGIENICKÉ VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE	66
5.2.2	ENERGETICKÉ ZDROJE	66
5.3	POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ	67
5.3.1	KONCEPCE VĚTRACÍCH A KLIMATICKÝCH ZAŘÍZENÍ	67
5.3.2	ZAŘÍZENÍ Č. 1 – VĚTRÁNÍ UČEBEN V OBJEKTU Č. 1 A Č. 2.....	67
5.3.3	ZAŘÍZENÍ Č. 2 – VĚTRÁNÍ UČEBEN V OBJEKTU Č. 3.....	68
5.4	NÁROKY NA ENERGIE.....	68
5.5	MĚŘENÍ A REGULACE	68
5.6	NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE	68
5.6.1	STAVEBNÍ ÚPRAVY	68
5.6.2	SILOVÁ INSTALACE.....	69
5.6.3	ZDRAVOTECHNIKA	69
5.6.4	VYTÁPĚNÍ.....	69
5.7	PROTIHLUKOVÁ A PROTIOTŘESOVÁ OPATŘENÍ	69
5.8	IZOLACE A NÁTĚRY	69
5.9	PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ.....	70
5.10	MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ.....	70
5.11	ZÁVĚR.....	70
5.12	FUNKČNÍ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ Č. 1 A Č. 2	71
5.13	TABULKA MÍSTNOSTÍ	72
5.14	TABULKA ZAŘÍZENÍ.....	73
5.15	POLOŽKOVÁ SPECIFIKACE	74
6	ZÁVĚR.....	77
7	SEZNAM CITOVANÝCH ZDROJŮ	78
	BIBLIOGRAFIE	78
	INTERNETOVÉ ZDROJE	78
	VYHLÁŠKY A NORMY.....	79
8	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	80
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ	82
	SEZNAM PŘÍLOH.....	83
	PŘÍLOHY	84

ÚVOD

Předmětem mojí bakalářské práce bude tvorba mikroklimatu v základní a mateřské škole. Tato problematika je dnes velmi aktuální, ale stále na ní není dostatečně poukazováno, hlavně z řad učitelů a rodičů. Proběhlo už mnoho měření a výzkumů, která potvrzují, že stav vnitřního prostředí ve vzdělávacích zařízeních je krajně neuspokojivý a má vliv na pozornost a výkonnost žáků při studiu. Je proto nutné hledat řešení.

Dnešní trend je takový, že masivním zateplováním objektů a výměnou oken nadřazujeme úsporu energií před kvalitním vnitřním prostředím pro výuku dětí. To je bezpochyby špatně. Snížení nákladů na vytápění musí jít ruku v ruce s nezbytným opatřením na straně vyhovujícího vnitřního mikroklimatu.

V teoretické části práce se budu věnovat rozdílům v legislativě při tvorbě vnitřního mikroklimatu vzdělávacích zařízení v historii a dnes. V rámci složek mikroklimatu se hlavně zaměřím na koncentraci oxidu uhličitého (CO_2).

Dále vyhodnotím mé vlastní dlouhodobé měření koncentrací CO_2 , které jsem provedl ve dvou různých učebnách základní školy Javornice. První měření bylo provedeno za původního stavu se starými netěsnými dřevěnými okny. Druhé měření bylo uskutečněno o rok později, kdy byly v objektu vyměněny otvorové výplně za nová těsná plastová s izolačním zasklením.

V praktické části využiji nabyté zkušenosti a zpracuji projektovou dokumentaci, která může posloužit jako inspirace při možném řešení problému.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Větrání školních zařízení

Každý člověk může podávat vysoké výkony, pokud se nachází ve vhodném vnitřním prostředí budov. U školních zařízení to platí dvojnásob, protože děti tráví v učebnách velkou část dne. Je proto nutné zajistit dostatečnou výměnu čerstvého vzduchu.

1.1.1 Požadavky na větrání v minulosti

V minulosti byly učebny lokálně vytápěny kamny na tuhá paliva, které potřebovaly pro spalování velké množství kyslíku. Přísun vzduchu byl zajištěn jednak přivětrávacími otvory v obvodových stěnách a dále netěsnou obálkou budovy. Proud vzduchu se staral o potřebnou výměnu čerstvého vzduchu do budovy, odváděl pachy, vydýchaný vzduch a vlhkost.

S nástupem centrálního vytápění už nebylo nutné přivádět do tříd tolik čerstvého vzduchu, avšak stále vzduch pronikal netěsnostmi budovy.

Již za dob Rakouska-Uherska v roce 1888 bylo stanoveno nařízením Ministerstva kultu a vyučování č. 40 zemského zákoníku českého způsob větrání ve školách. Odstavec věnovaný „Provětrávání škol“ nařizuje: „*Po skončení vyučování musí být třídy křížem okny a dveřmi provětrány, musí mít zajištěn dostatečný přívod vzduchu na spalování a musí zde být řešeno větrání v době, kdy se netopí. Toto je specifikováno tak, že musí být minimálně ve vnější zdi otvory při podlaze tak, aby s ventilačními okny v horní části mohly účinně provětrávat místnosti. Pokud není horní část oken řešena jako ventilační, tak musí být otvory i při stropu místnosti. Otvory musí být opatřeny šoupátky nebo klapkami tak, aby šly zavřít*“. Dále zmíněný předpis nařizoval, že zařízení týkající se provětrávání musí být zakresleno ve stavebních plánech škol a musí být patrné. [11]

1.1.2 Současné legislativní požadavky

Základní požadavky na vnitřní klima školních zařízení stanovuje **vyhláška č. 343/2009 Sb.**, kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., *o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*. Tato vyhláška předepisuje požadovanou výměnu vzduchu na žáka a hygienické zařízení (viz tab. 1), dále stanovuje celoročně přípustné parametry mikroklimatických podmínek (viz tab. 2)

Tabulka 1: Doporučené dávky vzduchu dle vyhlášky č. 343/2009

Typ prostoru	Množství vzduchu [m ³ /hod]
Učebny	20-30 na 1 žáka
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka
Šatny	20 na 1 žáka
Umývárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na 1 kabinu, 25 na 1 pisoár

Tabulka 2: Celoročně přípustné parametry mikroklimatických podmínek

Typ prostoru	Výsledná teplota			Rychlost proudění	Relativní vlhkost
	t _g min[°C]	t _g opt[°C]	t _g max[°C]	v _a [m.s ⁻¹]	[%]
Učebny, pracovny, místnosti určené k dlouhodobému pobytu	20	22 ±2	28	0,1-0,2	30-65
Tělocvičny	18	20 ±2	28	0,1-0,2	30-65
Šatny	20	22 ±2	28	0,1-0,2	30-65
Sprchy	24	-	-	-	-
Záchody	18	-	-	0,1-0,2	30-65
Chodby	18	-	-	0,1-0,2	30-65

Rozdíl výsledné teploty v úrovni hlavy a kotníků nesmí být větší než 3 °C. Tam, kde je rozdíl mezi výslednou teplotou kulového teploměru t_g a teplotou vzduchu t_a menší než 1 °C, lze jako výslednou hodnotu teploty použít hodnotu t_a [°C] naměřenou suchým teploměrem. Orientační kontrolu teploty vzduchu v prostotách s pobytem lze zabezpečit pomocí nástěnných teploměrů. Teploměry se nesmí umísťovat na stěny s okny a stěny vystavené přímému dopadu slunečního záření.“ [20]

Další požadavky uvádí **vyhláška č. 268/2009 o technických požadavcích na stavby**. V § 11 bodu (5) je uvedeno:

„Pobytové místnosti musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty. Pro větrání pobyto- vých místností musí být zajištěno v době pobytu osob minimální množství vyměňova- ného venkovního vzduchu 25 m³/h na osobu, nebo minimální intenzita větrání 0,5 l/h. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO₂, jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1500 ppm.“ [21]

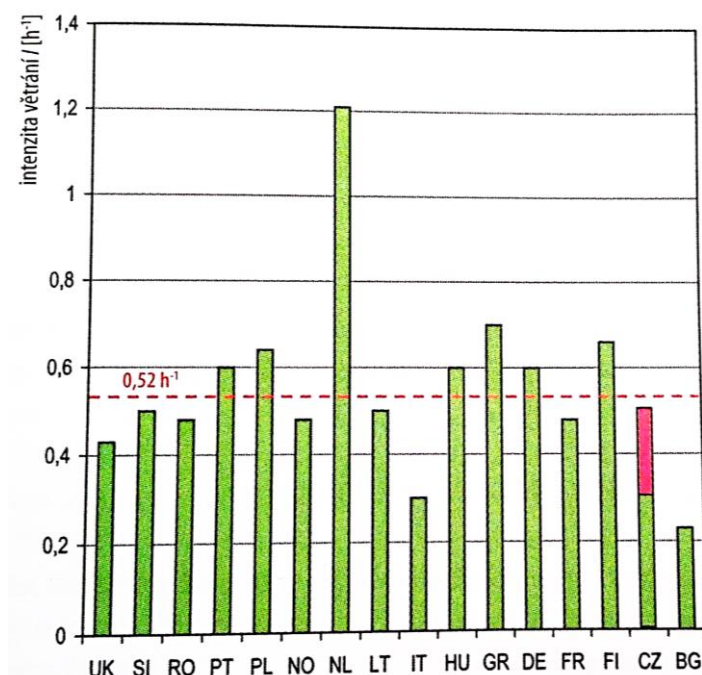
Ze srovnání v tab. 3 [1] vyplývá, že potřebná dávka vzduchu na žáka v minulosti byla sice menší, ale na druhou stranu byla požadována větší výměna celkového vzduchu

na místnost. Nižší dávku vzduchu si vysvětlují tím, že vzduch byl v minulosti čistší. Naopak potřebná výměna vzduchu v učebně vypovídá o potřebě spalovacího vzduchu pro kamna.

Tabulka 3: Srovnání požadavků v minulosti a dnes

Doba	80. léta 20. stol.	Současnost
Množství přiváděného vzduchu na žáka [m^3/h]	16	20-30
Násobná výměna vzduchu v učebně [x/h]	3-3,5	0,5

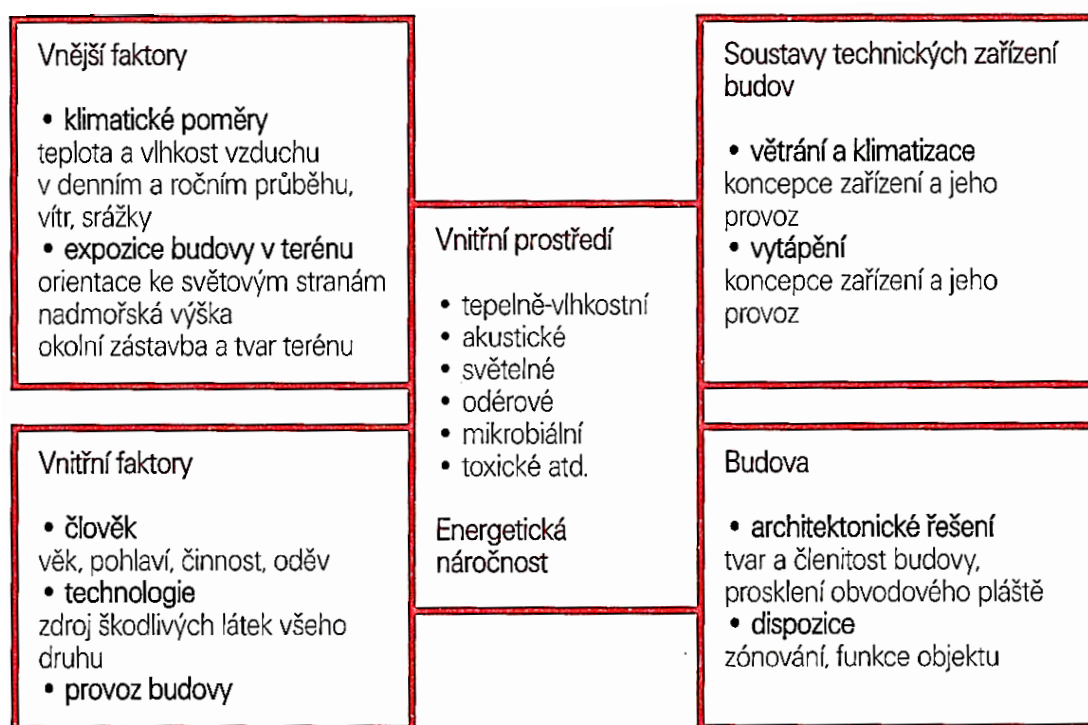
Obr. 1 ukazuje průměrnou intenzitu větrání v budovách ve vybraných zemích Evropské unie. Průměrná hodnota v EU je $0,52/\text{h}$. Nutno dodat, že každá země si požadavky na intenzitu větrání určuje sama a hodně se liší v jednotlivých částech. Například některé státy specifikují přesnou výměnu vzduchu na celou bytovou jednotku, další vyžadují potřebnou výměnu pro různé části bytu (ložnice, kuchyně, obývací pokoj), jiné zas požadují minimální průtok vzduchu na počet osob uvažovaných v místnosti nebo také hraje vliv kategorie bydlení. [2]



Obrázek 1: Požadavky na větrání obytných budov v různých zemích EU

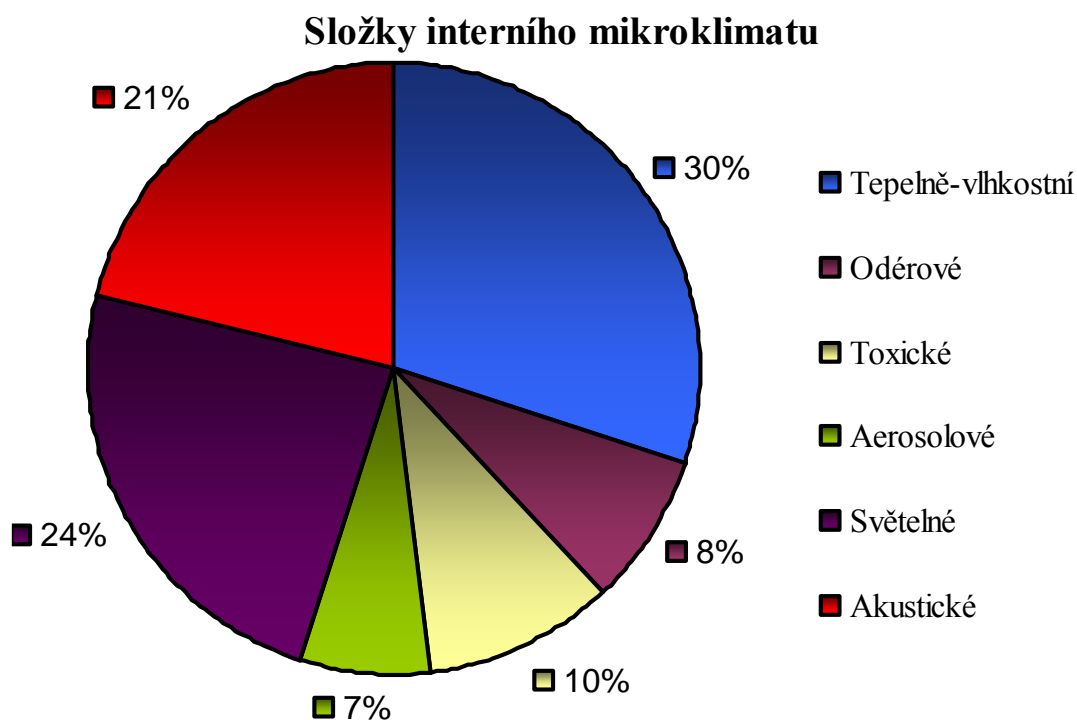
1.2 Mikroklima budov

Kvalita vnitřního prostředí významně ovlivňuje zdraví člověka, neboť lidé tráví velkou část dne a noci v budovách. Je obecně známo, že pokud odvádíme vlhkost z budovy a dostatečně jí větráme, je riziko vzniku nemocí nízké. Faktory, podílející se na tvorbě vnitřního prostředí v budovách znázorňuje obr. 2 [3]



Obrázek 2: Faktory podílející se na tvorbě mikroklimatu

Vnitřní prostředí v budovách se skládá z mnoha složek. Mezi nejvýznamnější řadíme tepelně vlhkostní, odérovou, aerosolovou, mikrobiální a akustickou složku. Procentuální rozložení složek uvádí graf č. 1. [12]



Graf 1: Průměrné podíly jednotlivých složek na stavu interního mikroklimatu

Z grafu č. 1 vyplývá, že nejvíce můžeme ovlivnit složku tepelně vlhkostní (30 %) a odérovou (24 %), proto se jimi budu nadále více zabývat.

1.2.1 Tepelně vlhkostní mikroklima

Tepelně vlhkostní mikroklima tvoří především exteriérové klimatické podmínky, avšak v budovách s vysokým počtem osob je rozhodující produkce tepla od lidí. Faktorem hodnocení tepelně vlhkostního mikroklimatu je tzv. tepelná pohoda. J. Cihelka [4] ji definuje takto: „*Tepelná pohoda znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno, ani příliš teplo - člověk se cítí příjemně*“.

Základní složky tepelně vlhkostního klimatu jsou:

- teplota vzduchu;
- povrchová teplota okolních ploch;
- vlhkost vzduchu;
- rychlost proudění vzduchu v pobytové zóně člověka;
- tepelně izolační vlastnosti oděvu;
- produkce tepla člověka.

1.2.1.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu t_a [°C] – někdy nazývaná jako suchá teplota. Ukazuje teplotu v okolí lidského těla, měřenou teplotním čidlem, které není ovlivněno sáláním z okolních ploch prostoru.

Střední radiační teplota t_r [°C] – množství tepla, sdíleného sáláním mezi povrchem těla a jednotlivými obklopujícími plochami v prostoru. Obtížně se dá stanovit výpočtem.

Operativní teplota t_o [°C] – je hodnotícím kritériem při stanovení tepelné pohody. Respektuje kromě teploty vzduchu t_a i střední radiační teplotu t_r a rychlost proudění vzduchu w_a . Operativní teplota je jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by tělo sdílelo radiací a konvekcí stejně tepla, jako ve skutečném nehomogenním prostředí a vypočítá se podle rovnice (1): [13]

$$t_o = t_r + A \cdot (t_a - t_r) \text{ [°C]} \quad (1)$$

Pokud je rychlost proudění vzduchu pod 0,2 m/s můžeme nahradit operativní teplotu výslednou teplotou t_g , měřenou kulovým teploměrem dle rovnice (2).

$$t_o = (t_a - t_r)/2 \text{ [°C]} \quad (2)$$

kde: A hodnota závislá na relativní rychlosti proudění vzduchu [-]

t_a teplota vzduchu [°C]

t_r střední radiační teplota [°C]

1.2.1.2 Vlhkost vzduchu

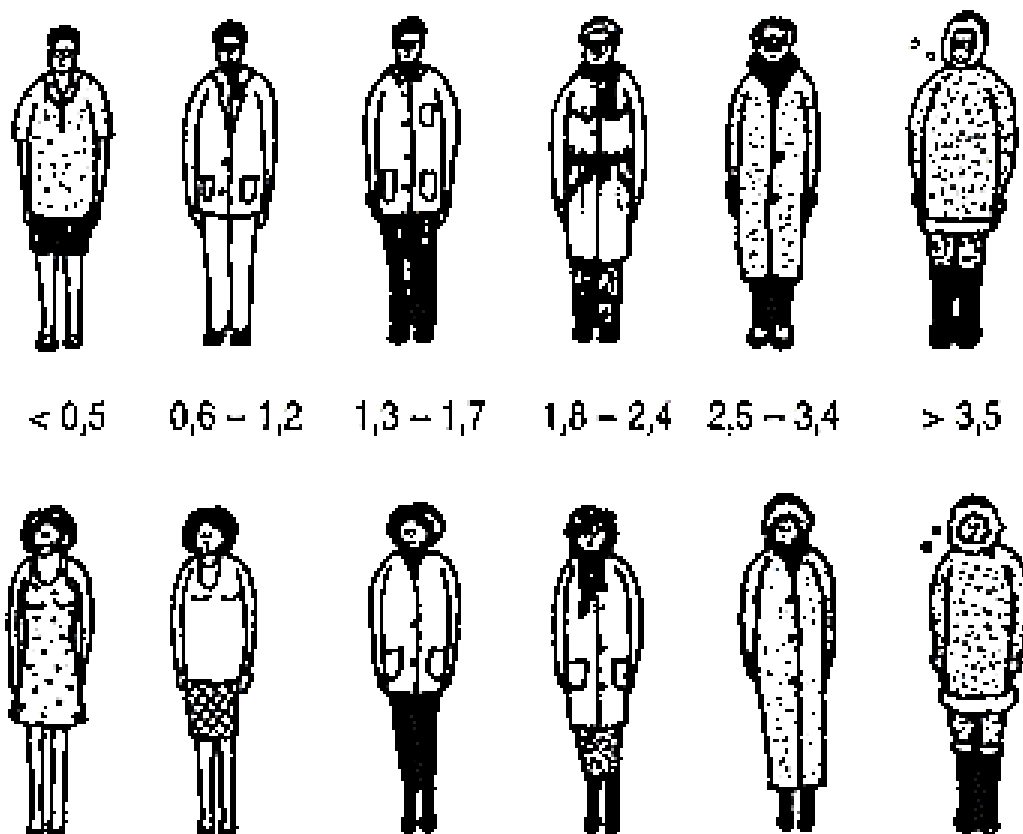
Nejčastěji používáme relativní vlhkost vzduchu, která je vyjádřena jako poměr tlaku vodní páry ve vzduchu vůči tlaku vodní páry v nasyceném vzduchu. Vlhkost ovlivňuje především venkovní prostředí a počet osob v interiéru. V zimních měsících může dojít k poklesu relativní vlhkosti na 20 % i méně, což vede k vysoušení sliznice horních cest dýchacích. Vysoká relativní vlhkost má také negativní vliv na odpařování potu a může dojít k růstu a množení plísní.

1.2.1.3 Rychlost proudění vzduchu

Vyšší rychlosti proudění vzduchu v okolí těla mohou zlepšit tepelnou pohodu, zároveň však mohou způsobit zdravotní potíže. Při vyšší rychlosti proudění vzduchu nastává pocit obtěžujícího faktoru průvanu. Citliví jedinci reagují nespokojeně již při rychlostech proudění od 0,22 m/s.

1.2.1.4 Tepelně izolační vlastnosti oděvu

Vrstva oblečení je jeden z hlavních faktorů vypovídajících o odvodu tepla z lidského těla do okolí. Pro studium tepelné pohody byla zavedena jednotka clo. 1 clo odpovídá izolační hmotě s tepelným odporem $R = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$. 1 clo představuje izolační hodnotu pro běžný pánský oblek s bavlněným spodním prádlem. Celková hodnota clo pro soubor oblečení se uvádí jako 0,82 násobek součtu jednotlivých částí oblečení. Hodnoty clo pro některé části oblečení jsou uvedeny v tab. 4, na obr. 3 jsou znázorněny některé soubory oblečení s odpovídající hodnotou clo. [14]



Obrázek 3: Izolace souborů oblečení v jednotkách clo

Tabulka 4: Izolace jednotlivých součástí oblečení v jednotkách clo

Muži	Oblečení	clo	Ženy	Oblečení	clo
Spodní prádlo	tílko	0,06	Spodní prádlo	podprsenka kalhotky	0,05
	tričko	0,09		krátké kombiné	0,13
	slipy	0,05		dlouhé kombiné	0,19
	nátělník dl. rukáv	0,35		nátělník dl. rukáv	0,35
	dlouhé spodky	0,35		dlouhé spodky	0,35
Košile	slabá kr. rukáv	0,14	Halenky	slabá	0,20
	slabá dl. rukáv	0,22		silná	0,29
	silná kr. rukáv	0,25	Šaty	slabé	0,22
	silná dl. rukáv	0,29		silné	0,70
+ 5 % pro kravatu nebo rolák					
Vesta	slabá	0,15	Sukně	slabá	0,10
	silná	0,29		silná	0,22
Kalhoty	slabé	0,26	Kalhoty	slabé	0,26
	silné	0,32		silné	0,44
Svetr	slabý	0,20	Svetr	slabý	0,17
	silný	0,37		silný	0,37
Sako	slabé	0,22	Sako	slabé	0,17
	silné	0,49		silné	0,37
Ponožky	krátké	0,04	Punčochy	všechny délky	0,01
	vysoké (podkolenky)	0,10		punčochové kalhoty	0,01
Boty	sandály	0,02	Boty	sandály	0,02
	polobotky	0,04		polobotky	0,04
	kotníkové	0,08		kotníkové	0,08

1.2.1.5 Produkce tepla člověka

Člověk neustále na základě svých biologických pochodů produkuje teplo, jenž předává do svého okolí. Teplo, které tělo vydá do okolí, závisí na teplotním rozdílu mezi povrchem těla a teplotou okolí. Teplota uvnitř těla se pohybuje kolem 37 °C, kdežto teplota kůže se může pohybovat v rozmezí 31 až 34 °C. Rozdíly teplot vznikají díky různému okolnímu prostředí a odlišným pokrytím částí lidského těla.

Energetický výdej:

Tělo je nepřetržitým zdrojem tepla. Tepelný výkon člověka závisí na aktivitě, osobě (postava, pohlaví, věk, fyzická kondice) a podmínkách, ve kterých se osoba nachází. Metabolickou tepelnou produkci rozdělujeme do dvou skupin:

- *Bazální metabolismus* – teplo je produkováno na základě biologických procesů. Hlavním procesem je „spalování pohonné látky“ kterou je potrava. Bazální metabolismus je určuje hmotnost, výška, věk a pohlaví osoby. Tyto funkce jsou však tak malé, že nemají podstatný vliv, proto pracujeme s hodnotou 44 W/m^2 pro muže a 41 W/m^2 pro ženy
- *Svalový metabolismus* – vzniká při konání práce člověka. Menší část se spotřebuje na fyzickou činnost a z větší části vzniká teplo, které se předá do okolí. [5]

V tab. 5 jsou uvedeny některé typické hodnoty metabolismu, které mohou být vyjádřeny jako tepelný výkon průměrného člověka (W), jako měrný tepelný výkon na jednotku plochy lidského těla (W/m^2) nebo jednotkou vytvořenou pro studium tepelné pohody met ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$). Pro průměrnou velikost povrchu člověka $1,9 \text{ m}^2$ to odpovídá zhruba 100 W. [7]

Tabulka 5: Závislost produkce tepla od lidí

Činnost	W	W/m^2	met
Spaní	70	40	0,7
Odpočívání, ležení na posteli	80	46	0,8
Sezení, odpočívání	100	58	1,0
Stání, práce v sedě	120	70	1,2
Velmi lehká práce (učitel, nakupování, vaření)	160	93	1,6
Lehká práce (domácí práce, práce s přístroji)	200	116	2,0
Středně těžká práce (tanec)	300	175	3,0
Těžká práce (tenis)	600	350	6,0
Velmi těžká práce (squash, práce v hutích)	700	410	7,0

Reakce lidského těla na teplé prostředí:

V teplém prostředí nebo při vzrůstající produkci metabolického tepla tělo odpovídá reakcí zvanou vazodilatace = podkožní cévy se rozšíří a zvýší zásobování pokožky krví. Teplota pokožky tedy odvádí teplo z těla. Pokud pokožka nestačí vyrovnat tepelnou rovnováhu, aktivují se potní žlázy a začne probíhat chlazení odpařováním. Tělo je schopné vyprodukovat až čtyři litry potu za hodinu, toto však nezvládne dlouhou dobu, trvale je schopné odvést cca jeden litr potu za hodinu, což znamená okolo 2,4 MJ tepla.

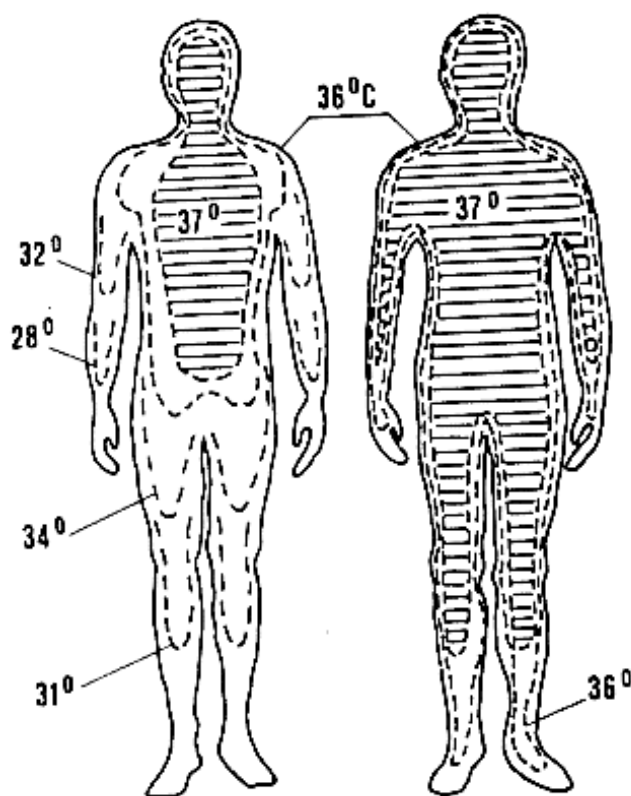
Když tělo nevyrovná tepelnou pohodu pocením, následuje reakce zvaná hypertermie = nevyhnutelné přehřívání organismu. Příznaky hypertermie jsou: slabost, ztráta chuti, bolest hlavy, nevolnost, zrychlený tep (až 150/min), duševní nepokoj, apatie. Teplota těla rychle stoupá přes 41 °C, kde se zastaví pocení, začne kóma a nastává smrt.

Reakce lidského těla na chladné prostředí:

Obranou lidského těla na nízkou teplotu je tzv. vazokonstrikce = snížení podkožní cirkulace krve, snížení teploty pokožky, čímž se sníží tepelná ztráta člověka. Tento proces doprovází tzv. „husí kůže“ nebo postavení chloupků na kůži, což zlepší tepelnou izolaci kůže. Pokud tento proces selže, nastává termogeneze = svalové napětí, třesení, které zvýší tepelnou produkci těla. Termogeneze může způsobit až 10 násobné zvýšení tepelné produkce. Vnitřní teplota těla zůstává kolem 37 °C. Periferie těla (prsty, nos, uši) se ochladí, mohou mít nedostatek krve a jejich teplota může mít i pod 20 °C. V některých případech může dojít i k omrznutí periférií, aniž by byla ohrožena vnitřní teplota těla.

Pokud se tělu nepovede zvýšit teplotu, nastává tzv. hypotermie = nevyhnutelné podchlazení těla. Vnitřní teplota může klesnout až pod 35 °C. I když hypotermie nenastane a tělo bude vystaveno chladným podmínkám, dojde k vzestupu krevního tlaku, srdeční frekvence a spotřeby kyslíku. Začne-li však klesat i teplota tělesného jádra, klesne i srdeční frekvence a dojde k selhání krevního oběhu. Smrt obvykle nastává mezi 25 až 30 °C. [14]

Rozložení teplot při vysoké a nízké teplotě zobrazuje obr. 4, který zobrazuje uvedené souvislosti. [15]



Obrázek 4: Rozložení teplot těla při nízké a vysoké teplotě

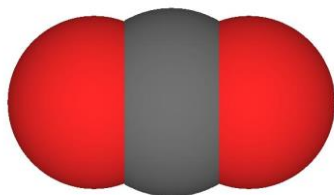
1.2.2 Odérové mikroklima

Odérové látky jsou různé znečišťující látky, které člověk vnímá jako pachy. Do interiéru budov vstupují odéry jednak z exteriéru, dále se uvolňují zevnitř – ze vzduchotechnických zařízení, stavebních materiálů, zařizovacích předmětů a hlavně z činnosti člověka. Mimo běžné odéry (kouření, příprava jídel) se v interiéru dnes vyskytují i styreny, formaldehydy a odpary z nátěrů, tedy látky v minulosti neznámé. V interiéru vzniká při pobytu lidí oxid uhličitý a tělesné pachy, které jsou obecně indikátorem kvality vnitřního vzduchu.

Oxid uhličitý (CO_2)

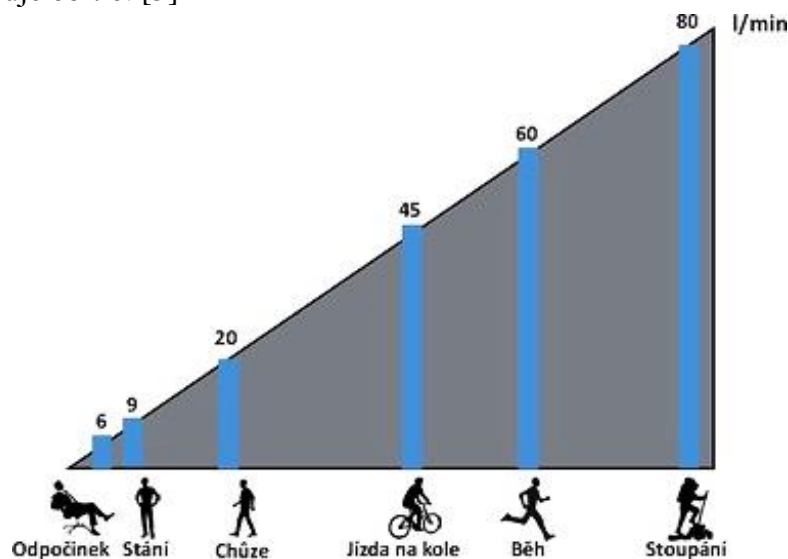
Oxid uhličitý vznikne dokonalým spalováním uhlíku, dále při dýchání, kvašení, tlení a hoření. Jedná se o bezbarvý plyn, bez zápachu, je rozpustný ve vodě, přibližně 1,5krát těžší než vzduch. Je nehořlavý a působí dusivě.

V případě nadýchání většího množství reaguje štiplavě na sliznicích a vytváří kyselou chuť. Při zchlazení pod $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ přechází do tuhého skupenství a vzniká bílá tuhá látka označovaná jako tzv. „suchý led“. [16]



Obrázek 5: Molekula oxidu uhličitého

CO_2 je nejčastější kontaminant vnitřního prostředí. Hodnoty koncentrací CO_2 jsou v interiéru vždy vyšší než v exteriéru. Zdrojů CO_2 v budovách je několik. Ve všech objektech bez rozdílu provozu jsou jedním velkým zdrojem oxidu uhličitého lidé. Další zdroje mohou být ostatní živé organismy nebo spotřebiče potřebující přísun vzduchu. Produkce CO_2 závisí na tělesné aktivitě člověka. Příklady typické fyzické činnosti člověka znázorňuje obr. 6. [5]



Obrázek 6: Orientační graf potřeby vzduchu v závislosti na fyzické činnosti

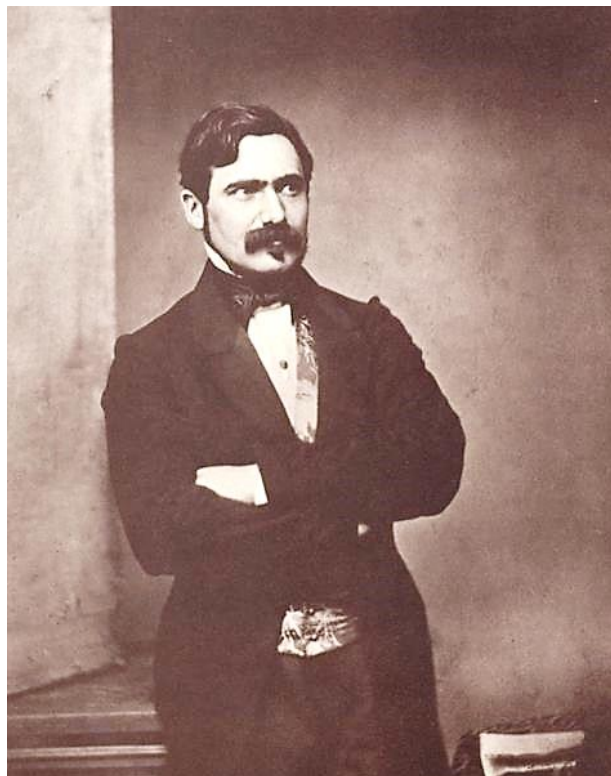
Pettenkoferovo kritérium

Základy pro stanovení optimální dávky vzduchu na člověka přednesl německý lékař Max von Pettenkofer v 19. století. Dnes se jeho podmínka bere jako závazná a určuje maximální koncentraci CO₂ v interiérech budov.

Pettenkofer stanovil, že maximální přípustná koncentrace CO₂ v prostorech, který je obýván lidmi může být 0,1 % obj. (1 000 ppm – parts per million, v překladu částic na jeden milion). Tato koncentrace bere v potaz kromě CO₂ i produkci dalších metabolitů, jako tepla, vlhkosti a oděrů osob. Pro osoby v bdělém stavu s mírnou fyzickou aktivitou je tok vydechovaného a vdechovaného vzduchu 0,42 m³/h, ve spánku pak 0,25 m³/h. Koncentrace CO₂ vydechovaného vzduchu je 4 %, v přiváděném vdechovaném vzduchu odpovídá koncentraci 0,035 % (350 ppm). Výpočtem z rovnice (3) plynoucí z bilance škodlivin vyplývá potřebné množství vzduchu. [2]

$$V_e = \frac{V_s}{C - C_p} = \frac{0,42 \cdot 0,04}{0,001 - 0,00035} = 25,8 \text{ [m}^3/\text{h} \cdot \text{os]} \quad (3)$$

Vypočtených 25 m³/h na osobu se ve většině vyspělých zemí bere jako standardní dávka vzduchu na osobu.



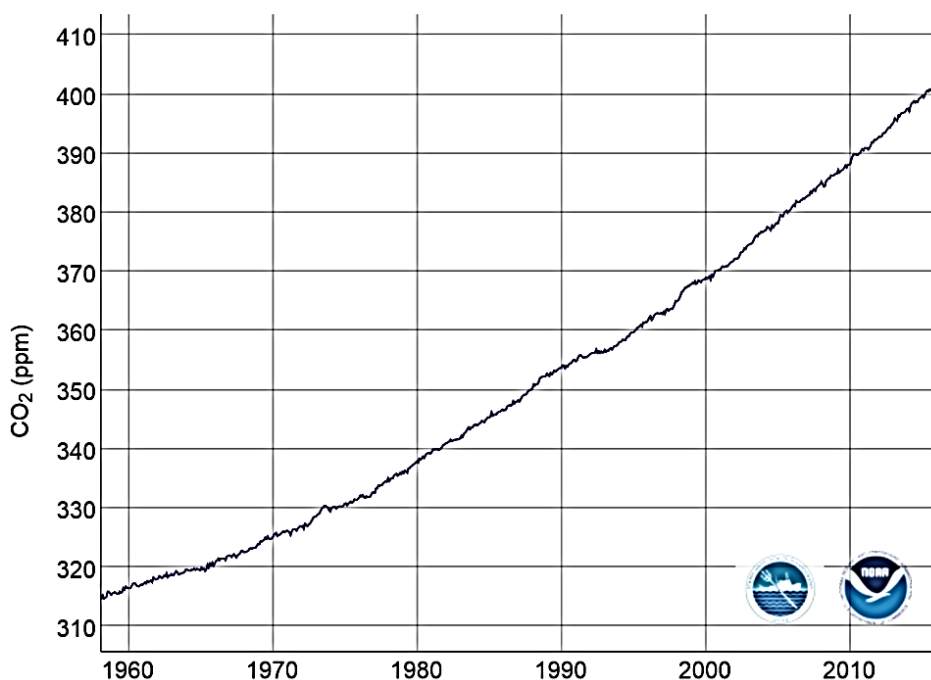
Obrázek 7: Max von Pettenkofer

Kvalita venkovního ovzduší

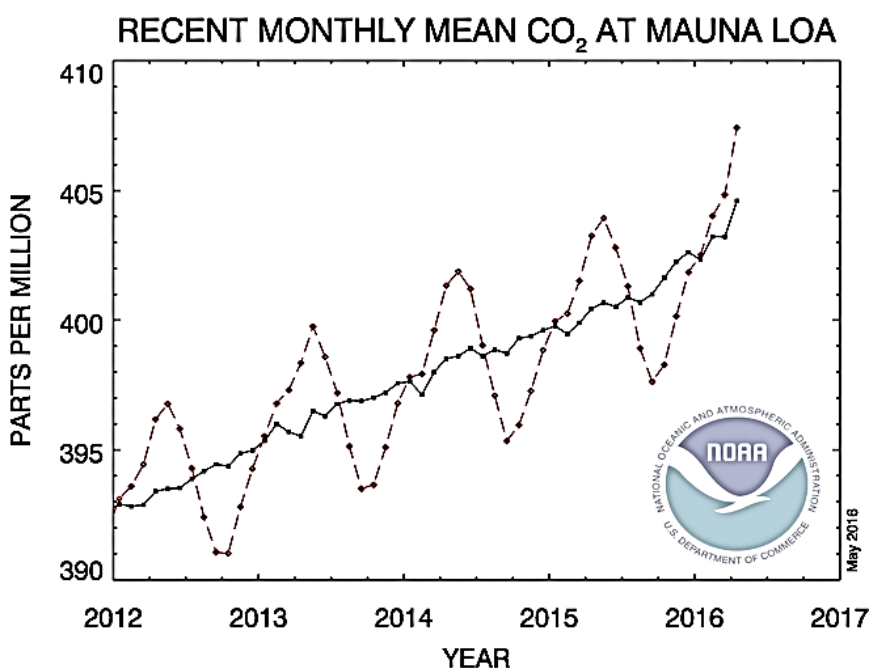
Ve venkovním prostředí se pohybují koncentrace CO₂ kolem 300–450 ppm. Rozdíly jsou dané lokalitou, v horských oblastech dosahují koncentrace oxidu uhličitého hodnot kolem 300 ppm, ve středu rušných měst a u dopravních tepen se hodnoty mohou vyšplhat až k 450 ppm.

Za místo, které reprezentuje kvalitní ovzduší a bereme ho jako světový průměr koncentrace CO_2 na naší planetě se nachází na sopce Mauna Loa na Havajských ostrovech. Tato lokalita je vhodná tím, že změny způsobené vegetací jsou minimální a vlivy sopečných plynů mohou být odfiltrovány. Na tomto místě se měří koncentrace CO_2 souvisle od dubna 1958, což je nejdéle na naší Zemi. Průběh měření koncentrací oxidu uhličitého znázorňují dva grafy, graf č. 2 mapuje průběh koncentrací CO_2 na sopce Mauna Loa od r. 1958 do současnosti a graf č. 3 zobrazuje pouze poslední 4 roky. [17]

Mauna Loa Monthly Averages



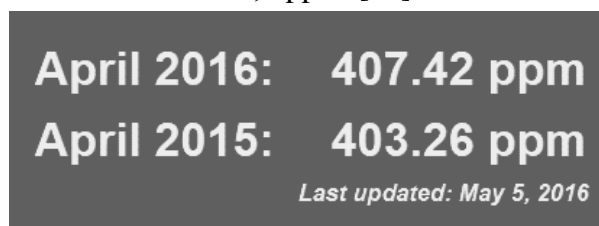
Graf 2: Dlouhodobé měření koncentrací CO_2 na sopce Mauna Loa



Graf 3: Měření CO_2 na sopce Mauna Loa v letech 2012-2016

Z grafů č. 2 a č. 3 jasně vyplývá rostoucí trend koncentrací CO₂ v průběhu uplynulých let. Za kritický milník považují klimatologové duben 2014, kdy poprvé v historii za celý měsíc neklesla hodnota ppm pod hodnotu 400. Poprvé, sice krátce jen na jeden byla milníková koncentrace 400 ppm překročena již 13. 5. 2013. [18]

Další překonání rekordu ve zvyšování koncentrací se stal rok 2015, kdy zpráva NOAA uvádí, že v roce 2015 došlo k nejvyššímu nárůstu koncentrací CO₂ za jeden rok, přesněji uvádí hodnotu 3,05 ppm. [19] Nejaktuálnější údaje mezi dubnem 2015 a dubnem 2016 představují ještě větší rozdíl a to 4,2 ppm. [17]



Obrázek 8: Rozdíl koncentrací CO₂ mezi dubnem 2015 a dubnem 2016

Na toto téma byla zpracována řada teorií a studií, které se přou o původ růstu koncentrací. Téměř všichni se však shodují, že za růst může, ať už z větší nebo menší části člověk. Jednak je to spalováním fosilních paliv, rostoucím průmyslem, globálním oteplováním nebo masivním snižováním ploch lesů, které CO₂ redukuje.

Jedno je jisté, kvalita ovzduší se zcela nepochybně zhoršuje a potřeba vzduchotechnických zařízení se stává nezbytnou součástí staveb. Zejména oblast filtrace vzduchu bude v budoucnu jistě progresivní.

Vliv koncentrací CO₂ na organismus člověka

Dle Maxe von Pettenkofera víme, že bychom měli v interiérech budov udržovat hladinu CO₂ pod 1000 ppm. Česká legislativa však považuje za povolenou hodnotu, která by neměla být překročena 1500 ppm. Důsledky koncentrací oxidu uhličitého na lidský organismus uvádí přehledně tab. 6. [2]

Tabulka 6: Vliv koncentrací CO₂ na lidský organismus

Koncentrace CO ₂	Účinky, výskyt
360-400 ppm	Koncentrace čerstvého vzduchu v přírodě
800-1 000 ppm	Doporučená koncentrace CO ₂ ve vnitřních prostorech
1 200-1 500 ppm	Maximální doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
nad 1 500 ppm	Nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace, ospalost, letargie
do 5 000 ppm	Maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
nad 5 000 ppm	Příznaky nevolnosti, bolesti hlavy, zvýšený tep, výskyt syndromu nemocných budov
nad 10 000 ppm	Při dlouhodobém působení vznikají prokazatelné zdravotní problémy
nad 40 000 ppm	Životu nebezpečné i krátkodobé koncentrace

Syndrom nemocných budov (SBS)

Pojem Syndrom nemocných budov charakterizuje zdravotní potíže lidí, pracujících v budovách, kde se vyskytuje větší množství osob. Tyto potíže jsou tak vážné, že mají podstatný vliv na jejich pohodu, negativně ovlivňují pracovní výkonnost. Potíže obvykle částečně nebo úplně odezní při odchodu z budovy.

Mezi často vyskytující se aspekty budov, které můžeme považovat mezi tzv. nemocné řadíme:

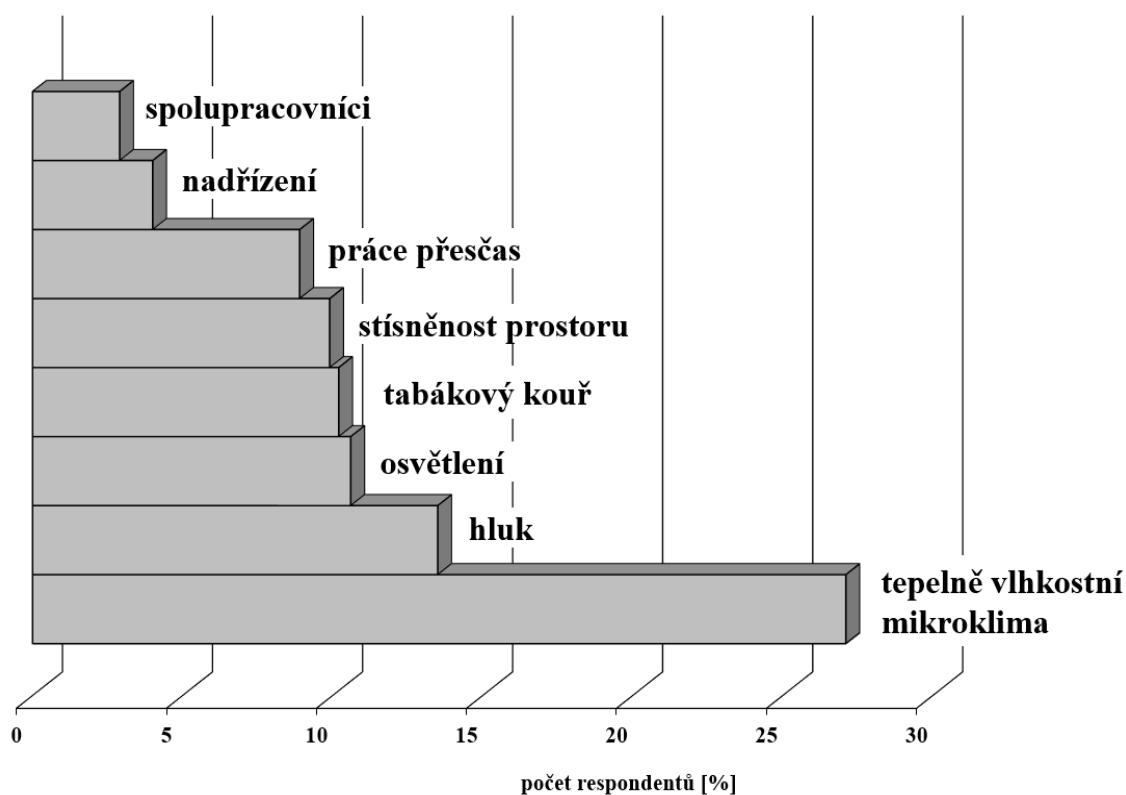
- nedostatečná výměna vzduchu;
- nemožnost otevřít okna;
- příliš nízká nebo vysoká vlhkost vzduchu;
- blikající, ostře zářící osvětlení;
- nevhodně nastavená klimatizace s chlazením (velký teplotní rozdíl mezi interiérem a exteriérem);
- nedostatečný, nepravidelný úklid;
- nízká úroveň ovládání ventilace, topení, osvětlení;
- mnoho otevřených regálových systémů;
- nový nábytek, koberce, malby, nátěry;
- nevhodně použité materiály (velké množství čalouněného nábytku);
- vysoký počet kancelářských zařízení (monitory, kopírovací stroje).

Tento výčet není úplný a není pravidlem, že se musí vyskytnout všechny aspekty v dané budově. Tyto charakteristické znaky mohou způsobit některá zdravotní obtíže, mezi nejčastější příznaky SBS patří:

- bolest hlavy;
- únava;
- ztráta soustředění;
- dráždění nosní sliznice;
- rýma, pocit ucpaní nosu;
- zhoršení stávajících alergických obtíží;
- dráždění očních spojivek;
- kožní projevy, jako jsou pocity suchosti a podráždění kůže.

Příznaky SBS odeznívají velice rychle, proto se mohou jevit jako nepodstatné. Naopak u výrazně citlivějších jedinců nebo osob se sníženou imunitou mohou způsobit velký problém. Toto se týká především vzdělávacích zařízení, jako jsou jesle, školky, školy ale i zdravotnická zařízení. [8] [9]

Průzkum provedený odbory bank a pojišťoven v SRN potvrzuje, že hlavní složkou kvalitního pracovního prostředí je tepelně vlhkostní mikroklima budov. Výsledky průzkumu přehledně ukazuje graf č. 4. [10]



Graf 4: Faktory prostředí, které lidé pociťují v interiéru budov

Působení pozitivních odérů na člověka

Pracovní výkonnost může velmi pozitivně ovlivnit nejen pocity člověka ale i také pracovní výkonnost.

„Výzkum vlivu odérů na člověka experimentálně propracovali Stanford a Reynolds na 5 000 osobách ve věku od sedmi do 85 let. Účastníci pokusu byli umístěni na dobu od jedné do osmi hodin v kabinách naplněných intenzivními pachy; pak sdělili své dojmy a byli podrobeni lékařským testům. Při pokusech bylo použito 260 trestů s vůní pryskyřice, sena, bylin, dále vůně 80 druhů parfémů, různých kosmetických přípravků, čerstvého chleba, pečeného masa, sýrů, kuchyňského koření, hnijícího dřeva, spalin z různých druhů spáleného dříví, hnoje, plísní, desinfekčních a pracích prostředků, barev, laků apod.“

Ačkoliv osoby reagovali na oděry různě, lze vypožorovat typické chování stejného pohlaví a věku.

Děti do 15 let bez rozlišení pohlaví reagovaly nejlépe na vůni heřmánku, máty, tajícího sněhu, a čerstvě pokosené trávy. Testy dále ukázaly, že po několikahodinovém pobytu v provoněných testovacích kabinách jsou i špatní žáci schopni řešit úlohy daleko lépe. Sled jejich myšlenek byl rychlejší, projevílo se lepší logické uvažování. [10]

2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Pro ověření zhoršení vnitřního mikroklimatu jsem si vybral dvě učebny základní školy Javornice, kterou jsem 9 let navštěvoval. Provedl jsem měření základních psychrometrických veličin: teplota vzduchu, relativní vlhkost a koncentrace CO_2 . Původní stav objektu byl osazen starými netěsnými dřevěnými okny, které byly už za hranicí životnosti. Některá z nich se nedala ani otevřít a našly se i případy, kde byla viditelná mezera mezi rámem a okenním křídlem. Stará okna byla o letních prázdninách v roce 2015 vyměněna za nová plastová s dorazovým těsněním a izolačním trojsklem se součinitelem prostupu tepla $U_w = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Měření probíhalo vždy souvisle minimálně dva pracovní týdny v každé učebně před a po rekonstrukci. Nebyly zvoleny žádné požadavky na větrání tak, aby výsledky nebyly zkreslené a naměřené hodnoty odpovídaly běžnému provozu učeben.

Měřicí technika:

Měření jsem uskutečnil pomocí přístroje Lutron MCH 383SD. Díky dataloggeru a ukládání dat v intervalech 1-5 min na paměťovou kartu umožňuje nepřetržité měření.



Obrázek 9: Měřič Lutron MCH 383SD

2.1 Učebna č. 1 – malá učebna

První zvolená učebna je nejmenší kmenová třída (m. č. 2.1.9) devítileté školy. Jedná se o nejmenší třídu. Její plocha je pouhých $35,8 \text{ m}^2$, na které se průměrně vyučovalo 12 žáků. Místnost má dvě okna $2,35 \times 2,06 \text{ m}$, objem místnosti je $116,2 \text{ m}^3$. Měřič byl umístěn v zadní části učebny na skříni ve výšce 1,65 m. Měřiči bylo zabráněno přímému oslunění.



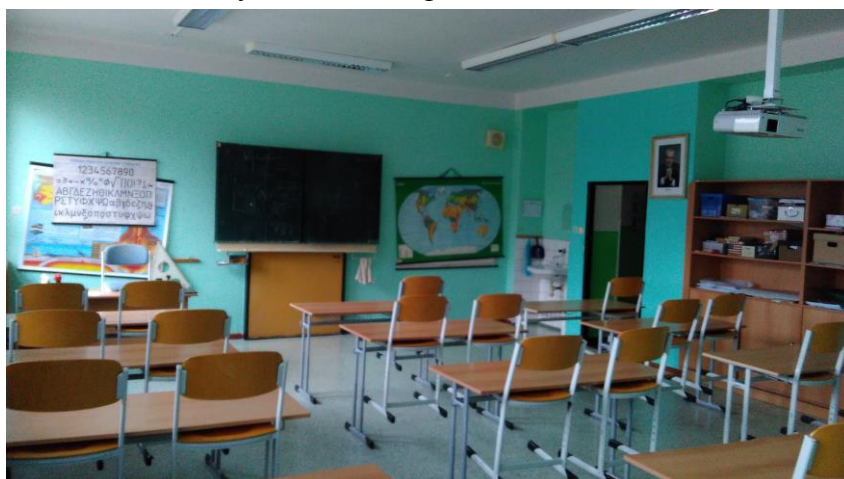
Obrázek 10: Učebna č. 1, foto č. 1



Obrázek 11: Učebna č. 1, foto č. 2

2.2 Učebna č. 2 – velká učebna

Druhá učebna je typická kmenová třída (m. č. 2.1.8) nové budovy (č. 1). V době měření byla obsazena průměrně 16 žáky. Plocha je vymezena 59,1 m². Místnost má tři okna 2,35×2,06 m, objem místnosti činí 192,1 m³. Měřič byl položen opět v zadní části učebny na stolku a také mu bylo zabráněno přímého oslunění.

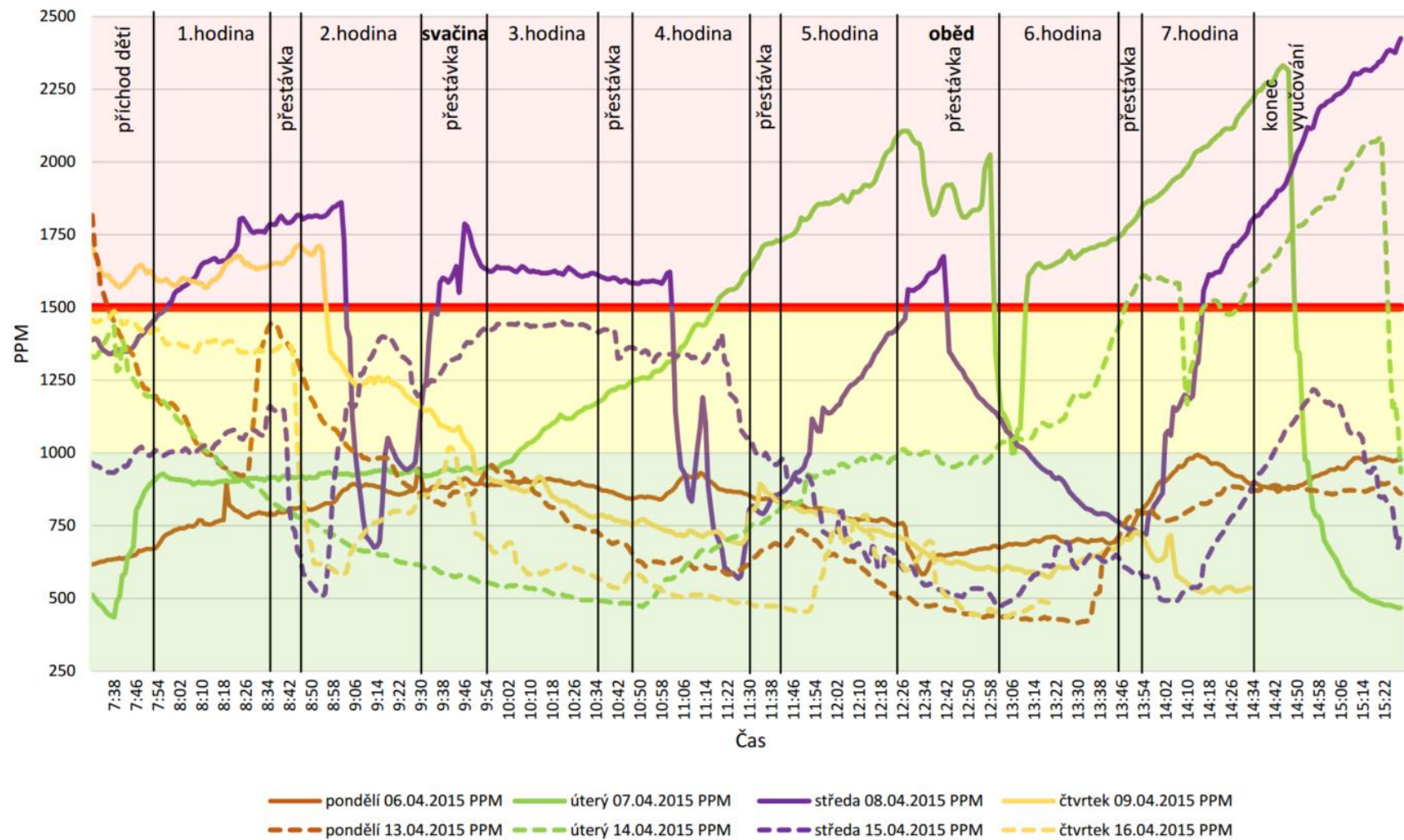


Obrázek 12: Učebna č. 2, foto č. 1



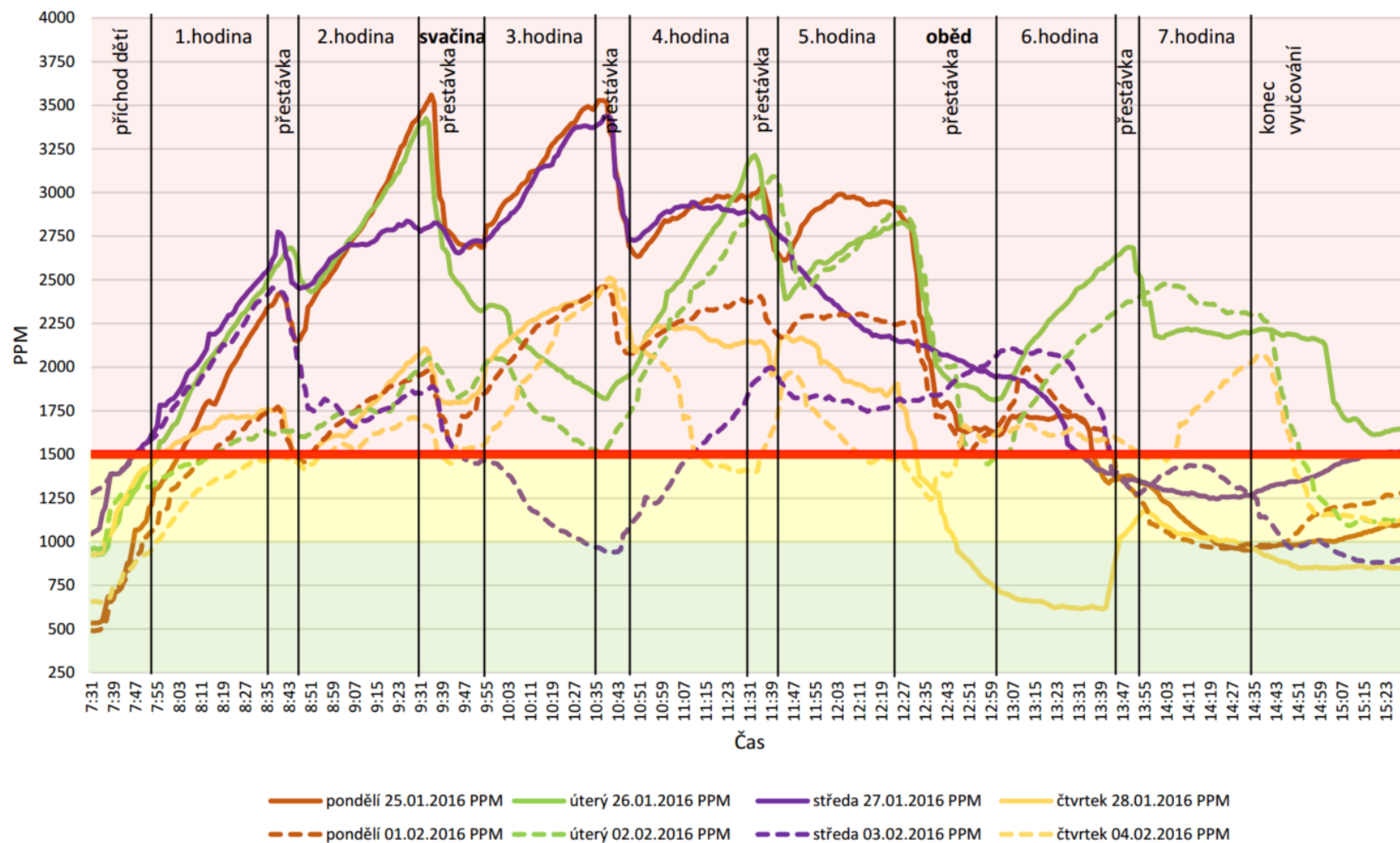
Obrázek 13: Učebna č. 2, foto č. 2

MALÁ UČEBNA PŮVODNÍ STAV 2015



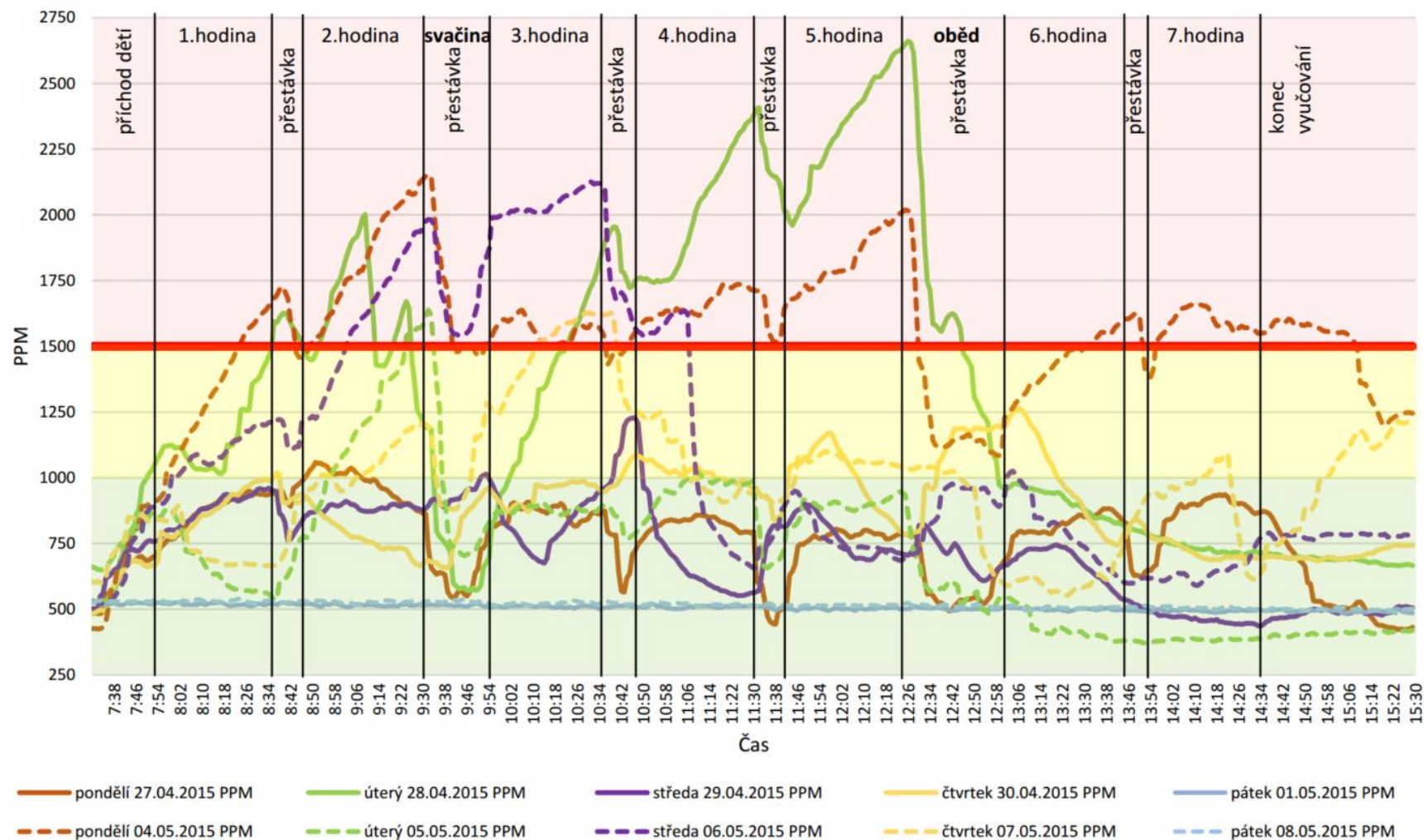
Graf 5: Průběhy koncentrací CO₂ v malé učebně před rekonstrukcí

MALÁ UČEBNA NOVÝ STAV 2016



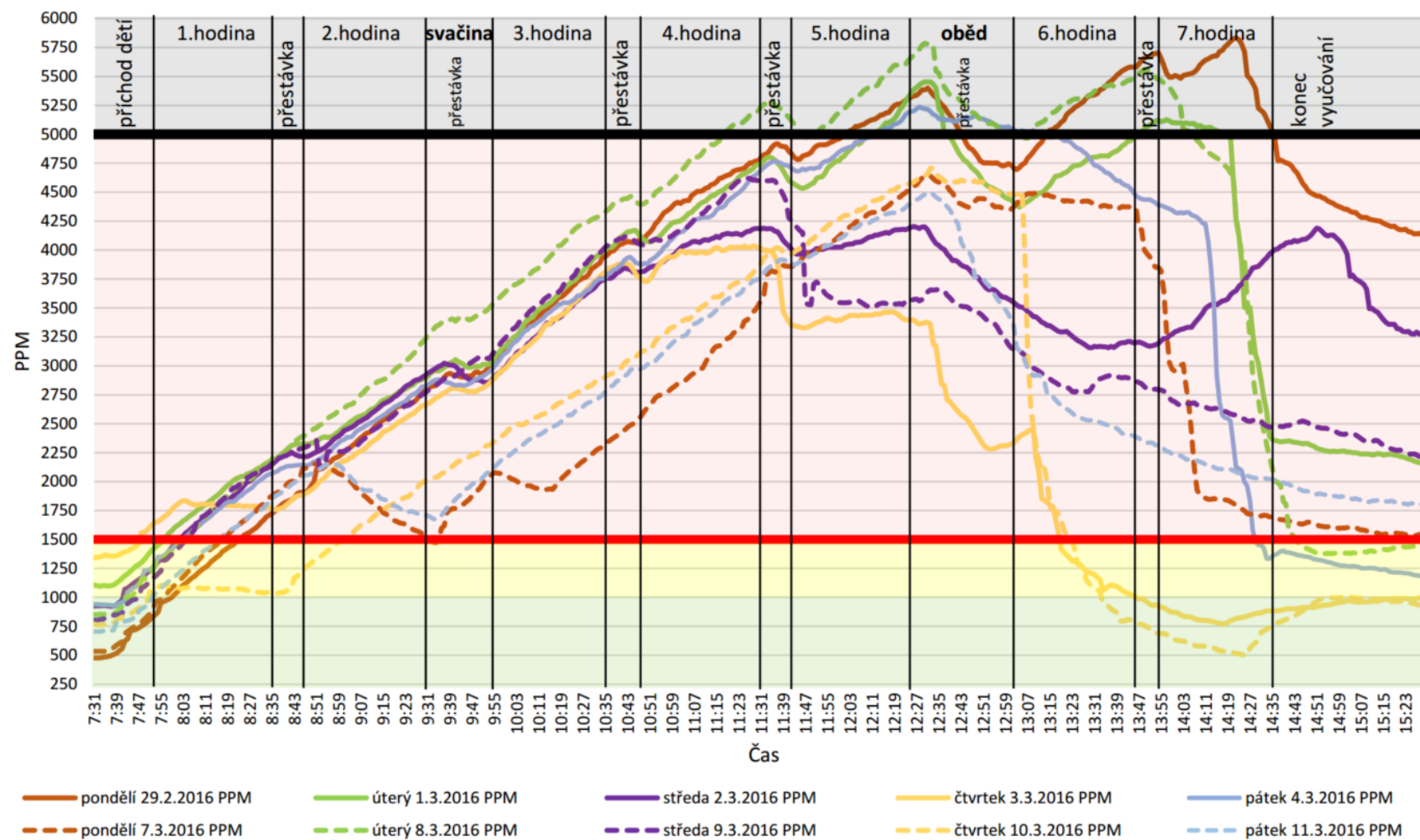
Graf 6: Průběhy koncentrací CO₂ v malé učebně po rekonstrukci

VELKÁ UČEBNA PŮVODNÍ STAV 2015



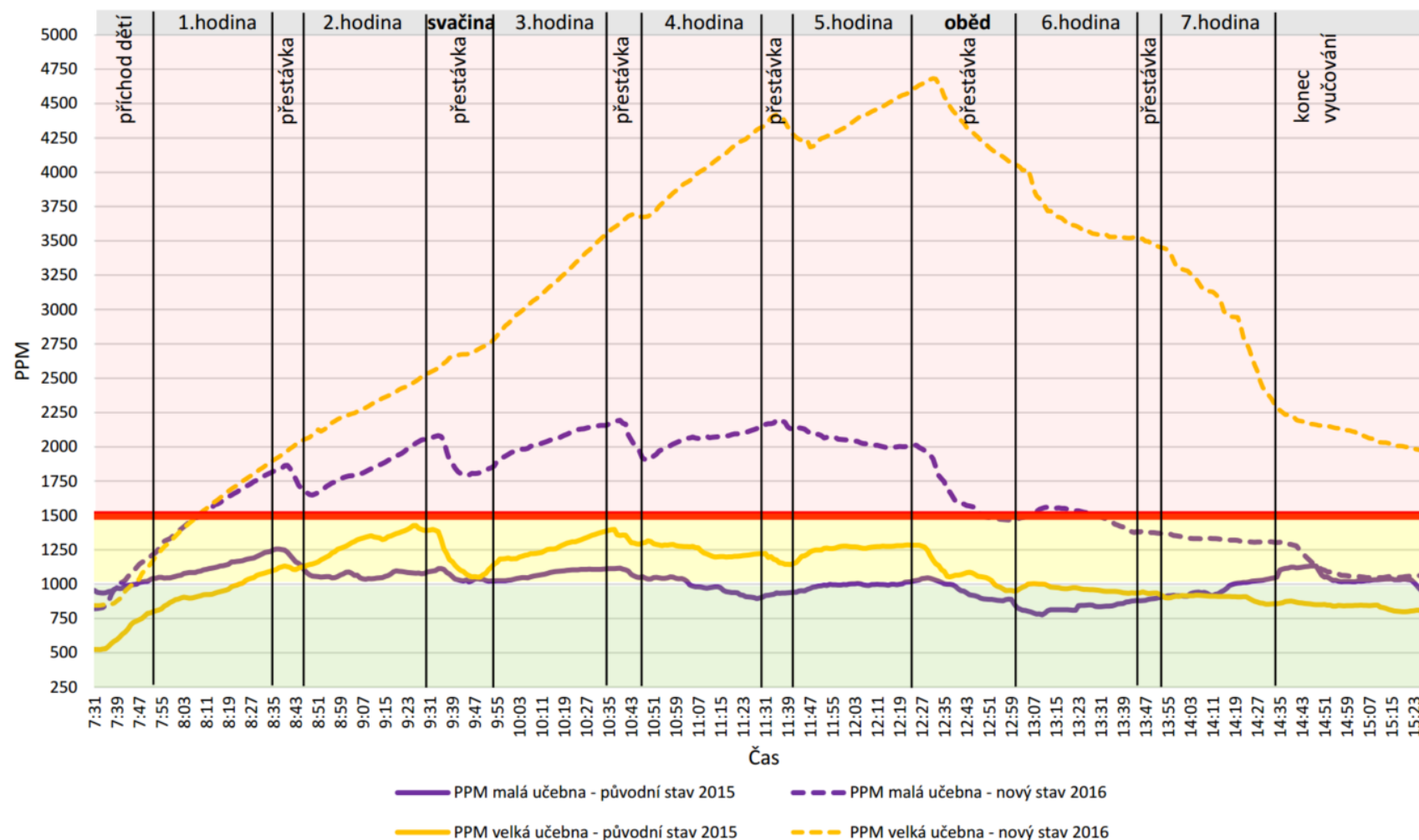
Graf 7: Průběhy koncentrací CO₂ ve velké učebně před rekonstrukcí

VELKÁ UČEBNA NOVÝ STAV 2016



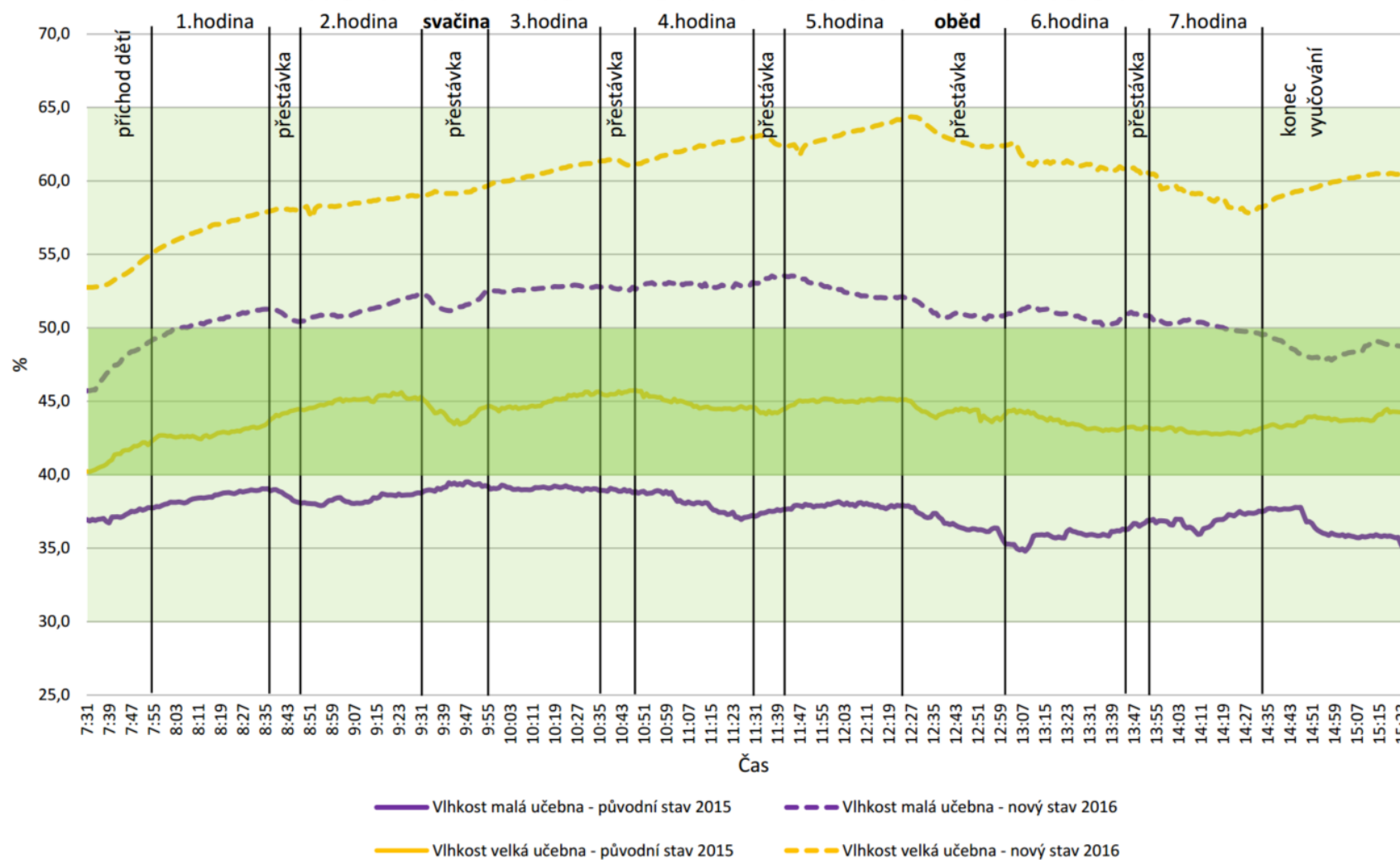
Graf 8: Průběhy koncentrací CO₂ ve velké učebně po rekonstrukci

PRŮMĚRNÉ HODNOTY KONCENTRACE CO₂



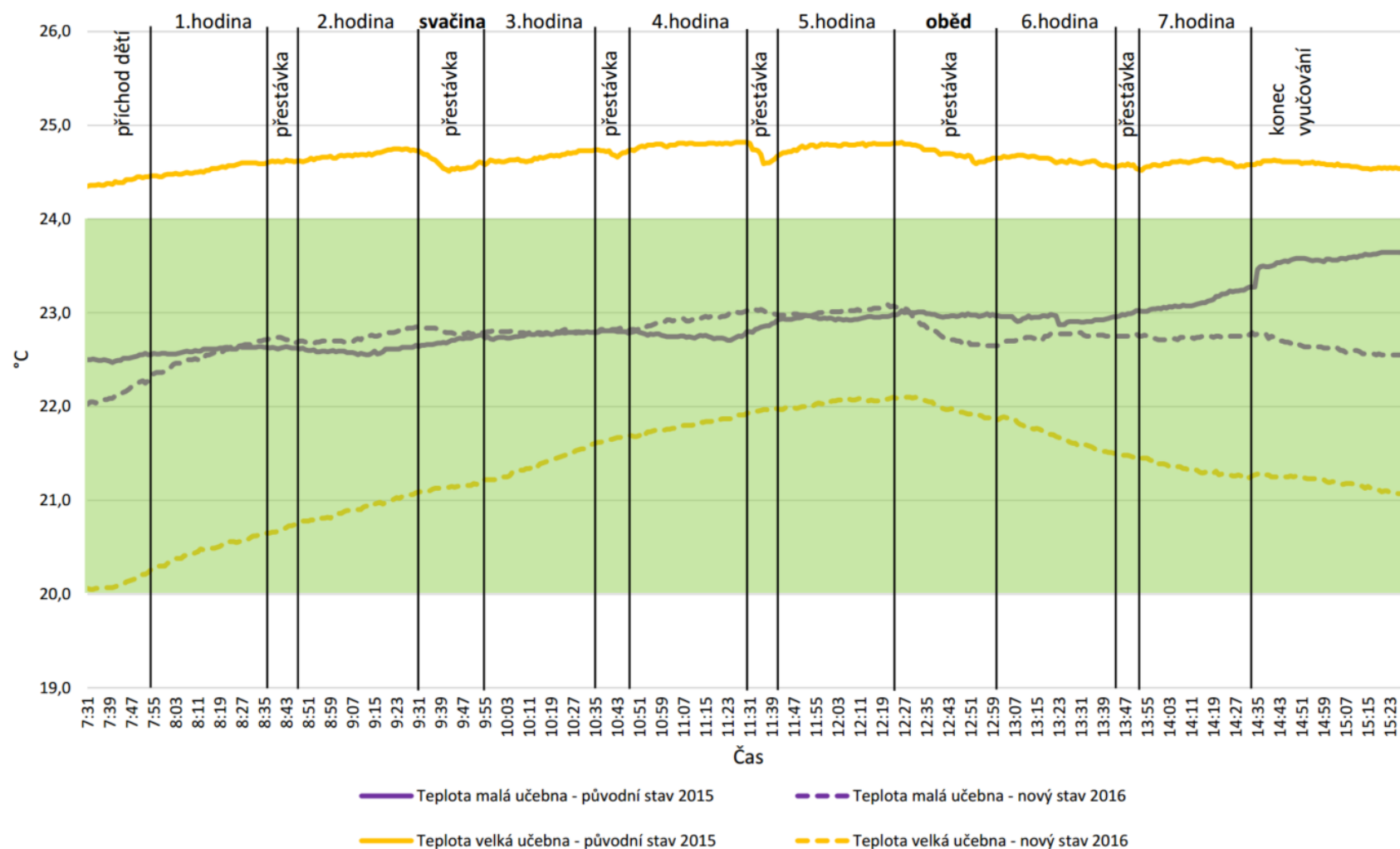
Graf 9: Průměrné hodnoty koncentrací CO₂ v pracovních dnech

PRŮMĚRNÉ HODNOTY RELATIVNÍ VLHKOSTI



Graf 10: Průměrné hodnoty relativní vlhkosti v pracovních dnech

PRŮMĚRNÉ HODNOTY VNITŘNÍ TEPLOTY



Graf 11: Průměrné hodnoty vnitřní teploty v pracovních dnech

2.3 Vyhodnocení experimentálního měření

Koncentrace oxidu uhličitého CO₂

V grafech průběhů koncentrací oxidu uhličitého je zobrazena tučně červeně limitní hodnota 1 500 ppm, která ukazuje pomyslnou hranici mezi zdravým a nezdravým prostředím. Zdravé hodnoty jsou podbarveny zeleně, přijatelné žlutě.

Nepochopitelným jevem se zdá v grafu č. 5 odpolední čas dne 8. 4. 2015. Strmý nárůst koncentrace CO₂ zapříčinil začátek rodičovské schůzky, která se konala od 14:00 h.

V grafu č. 7 vyčnívají z hodnot dny 1. 5. 2015 a 8. 5. 2015. Tyto dva dny byl státní svátek, proto jsou koncentrace tak nízké. Do průměrných hodnot v grafech č. 9, 10, 11 jsem s těmito dny tedy nepočítal.

Z grafu č. 8 stojí za zmínku fakt, že se podařilo několikrát prolomit hranici 5 000 ppm, což dle tab. 6 při delším pobytu v učebně může zapříčinit bolest hlavy, nevolnost, SBS atp.

Z grafu č. 9 ukazující průměrné hodnoty koncentrací CO₂ můžeme vypožorovat několik faktů:

- zdravé prostředí pod 1 000 ppm je dosaženo pouze před příchodem žáků do učeben;
- v novém stavu je dosaženo nezdravého prostředí nad 1 500 ppm u obou učeben již v polovině první vyučovací hodiny;
- za celý den koncentrace oxidu uhličitého nijak výrazně neklesá, u původního stavu narostla za první vyučovací hodinu a pak spíše stagnovala. U nového stavu spíše stoupala;
- klesajícímu průběhu v odpoledních vyučovacích hodinách pomohl fakt, že výuka probíhala pouze v úterý a někdy ve čtvrtek;
- k částečnému snížení koncentrací CO₂ dochází pouze o přestávkách, kdy se otevřou dveře na chodby a dochází k pohybu dětí na chodbu. Na kvalitu prostředí to však nemá téměř žádný vliv.

Relativní vlhkost

Průměrné hodnoty relativní vlhkosti (graf č. 10) se ve všech případech vyskytují v povolených hodnotách udávaných vyhláškou č. 343/2009. Za vhodnou vlhkost se považuje 40-50 %, což splňuje pouze původní stav velké učebny. Vyšší relativní vlhkosti stavů po rekonstrukci zcela jistě způsobuje vyšší neprůvzdušnost budovy. V novém stavu ve velké učebně hodnoty atakují relativní vlhkost 65 %, která může být za jistých podmínek startem pro vznik nežádoucích plísní.

Vnitřní teplota

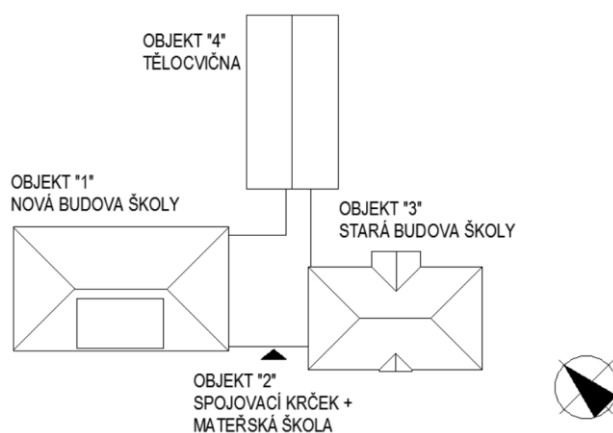
Průměrné vnitřní teploty (graf č. 11) splňují nařízení vyhlášky č. 343/2009 na teplotu interiéru 22±2 °C. Každopádně krátkodobé intenzivní větrání před každou hodinou by nemělo velký vliv na výslednou teplotu interiéru.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Analýza objektu

3.1.1 Popis objektu

Školský objekt, pro který navrhují systém nuceného větrání, se nachází v obci Javornice. Javornice leží ve východních Čechách v podhůří Orlických hor ve výšce 400 m. n. m. Ve školském objektu je v provozu základní devítiletá škola a mateřská školka. Objekt je rozsáhlý, skládá se ze čtyř částí. Tzv. stará budova z r. 1886, nová budova z r. 1975, spojovací krček s nástavbou MŠ (rok dokončení stavby 2013) a tělocvična.



Obrázek 14: Schéma školského objektu

V suterénu nové budovy najdeme kotelnu na uhlí, šatny, sklady a jednu učebnu. V prvním nadzemním podlaží je kuchyň, jídelna, PC učebna a družina, ve druhém nadzemním podlaží se nachází pět učeben a kabinety. V podkroví je umístěn soukromý byt. Suterén spojovacího krčku je vyhrazen pro šatny, přízemí je komunikační s hygienickým zařízením, druhé podlaží patří učebně mateřské školy s hygienickým zařízením a kabinou vychovatelek. V přízemí staré budovy jsou dvě učebny, šatna MŠ, ředitelna a sklad učebních pomůcek. Ve druhém nadzemním podlaží jsou dvě učebny, třída MŠ a sklad pomůcek. Podkroví je nevyužívané. Poslední část objektu je tělocvična se šatnami.



Obrázek 15: Jižní pohled na objekt



Obrázek 16: Západní pohled na objekt



Obrázek 17: Severní pohled na objekt



Obrázek 18: Severovýchodní pohled na objekt

3.1.2 Rozdělení objektu na funkční celky

Hlavními požadavky na návrh řízeného větrání v tomto objektu byly pořizovací cena a s tím spojené náklady na provoz a co nejmenší zásahy do stávajících konstrukcí. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl větrat pouze místnosti s velkou koncentrací osob, tj. všechny výukové učebny. Kabinety, sklady pomůcek, šatny a částečně hygienické zařízení jsou nadále větrány přirozeně okny.

Objekt jsem rozdělil na dva funkční celky. Objekt je velmi rozsáhlý a členěný, a proto by bylo neekonomické celou budovu obsluhovat jedním vzduchotechnickým zařízením. První VZT jednotka bude obsluhovat budovy č. 1 a č. 2, tj. novou budovu školy a spojovací krček s MŠ. Pro toto řešení jsem se rozhodl z důvodu rozdílného využívání objektu. V levé části objektu (nová budova č. 1) má zázemí převážně druhý stupeň ZŠ, který má více hodin odpoledního vyučování, než první stupeň ZŠ, jenž má učebny v pravé části objektu (č. 3 – stará budova). Odpolední pobyt dětí MŠ je také převážně v budově č. 2 – spojovacím krčku. Toto nám umožní vypínat VZT zařízení č. 2 obsluhující pouze budovu č. 3 – starou budovu v odpoledních hodinách a tím šetřit náklady.

VZT zařízení č. 1 bude instalováno v budově 1 – nové budově v suterénu. Toto umístění je vhodné z důvodu polohy kotleny. Umístění v podkroví budovy by bylo problematictější z hlediska hluku kvůli blízkosti privátního bytu. Sání a výtlačk bude realizován skrze obvodové stěny.

VZT zařízení č. 2 umístím v nevyužívaném podkroví objektu 3 – staré budově. Jiná poloha není možná kvůli nedostatku místa ve staré budově. Sání a výtlačk provedu nad střechu objektu.

4 VÝPOČTOVÁ ČÁST

4.1 Tepelné bilance

Výpočet tepelných ztrát nebude zhotoven, pokrytí zajišťuje instalovaná otopná soustava. Strojní chlazení objektu se neuvažuje. Tepelná akumulace budovy je dostatečná, tepelnou zátěž částečně eliminují žaluzie.

4.2 Výpočet dávky vzduchu na žáka dle koncentrací CO₂

Množství venkovního vzduchu na osobu pro udržení maximální koncentrace CO₂ vychází z rovnice:

$$V = \frac{m}{\rho_{\max} - \rho} [m^3/h]$$

kde:

m – produkce CO₂ dýcháním, viz tab. 7

ρ_{\max} – nejvyšší přípustná koncentrace v interiéru [ppm]

ρ – koncentrace CO₂ v přiváděném vzduchu do místnosti (dle vlastního měření) [ppm]

Tabulka 7: Produkce CO₂ člověkem při různé aktivitě

člověk v klidu	13 l/h
člověk při lehké činnosti	19 l/h
člověk při středně těžké práci	60 l/h
člověk při těžké práci	77 l/h

Výpočet:

Uvedu tři různé dávky vzduchu na osobu podle třídy komfortu budovy: třída A-max. koncentrace 1 000 ppm, třída B-1 200 ppm, třída C-1 500 ppm.

$$V_A = \frac{19 \cdot 10^3}{1000 - 330} = 28,4 [m^3/h]$$

$$V_B = \frac{19 \cdot 10^3}{1200 - 330} = 21,8 [m^3/h]$$

$$V_C = \frac{19 \cdot 10^3}{1500 - 330} = 16,2 [m^3/h]$$

4.3 Návrh přirozeného větrání

Provoz vzduchotechnických jednotek bude probíhat hlavně v chladných měsících. Při vyšších teplotách exteriéru nadále uvažujeme s přirozeným větráním okny. Výpočet bude proveden na typickou učebnu (učebna č. 2, m. č. 2.1.8) nové budovy.

4.3.1 Větrání infiltrací

Větrání infiltrací tvoří výměna vzduchu v místnostech vlivem netěsnosti stavebních konstrukcí. Jedná se především o spáry otvíravých oken a dveří.

$$V = i \cdot l \cdot \Delta p^n [m^3/s]$$

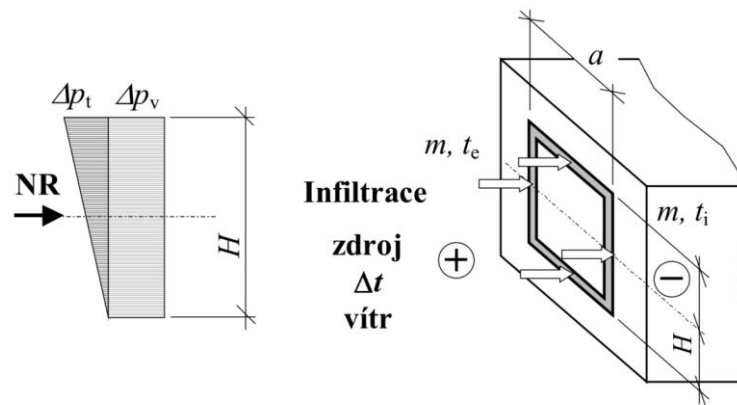
kde:

i – součinitel průvzdušnosti spáry (určí výrobce oken nebo dle ČSN EN 12207) $[m^3/s.m.Pa^{0,67}]$

Δp – rozdíl tlaku vyvolaný rozdílem teplot Δp_t a působením větru Δp_v

l – délka spár $[m]$

n – exponent charakterizující proudění vzduchu spárou, běžně $n = 0,67$



Obrázek 19: Schéma větrání infiltrací

$$\Delta p_t = h \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) [Pa]$$

kde:

h – výškový rozdíl mezi otvíravou částí okna $[m]$

g – gravitační zrychlení $[m/s^2]$

ρ_e ; ρ_i – hustota vzduchu v exteriéru a interiéru $[Pa]$

$$\Delta p_v = 0,5 \cdot A \cdot w^2 \cdot \rho_e [Pa]$$

kde:

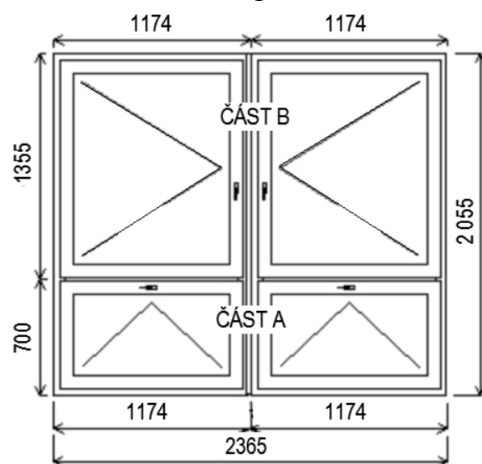
A – rozdíl součinitele návětrné a závětrné strany budovy, běžně $A = 0,8-0,9$ [-]

w – rychlost větru [m/s^2]

ρ_e – hustota vzduchu v exteriéru [Pa]

Výpočet:

Uvedený výpočet bude vycházet ze zimního extrému teplot ($-15\text{ }^\circ\text{C}$) a s vyšší hodnotou větru (5 m/s), které nejvíce ovlivňují infiltraci. Porovnáme infiltraci původního starého dřevěného netěsného okna a nového plastového.



Obrázek 20: Schéma okenního otvoru v typické učebně

$$\Delta p_v = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 5^2 \cdot 1,350 = 14,34\text{ Pa}$$

$$\Delta p_t = 2,055 \cdot 9,82 \cdot (1,350 - 1,189) = 3,24\text{ Pa}$$

$$V_{staré} = 0,8 \cdot 10^{-4} \cdot 17,58 \cdot (14,34 + 3,24)^{0,67} = 9,6 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3/s = 34,56\text{ m}^3/h$$

$$V_{nové} = 0,05 \cdot 10^{-4} \cdot 17,58 \cdot (14,34 + 3,24)^{0,67} = 6,0 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3/s = 2,16\text{ m}^3/h$$

Infiltrace starým oknem je $34,56\text{ m}^3/h$, tj. na celou učebnu $3 \times 34,56 = 104\text{ m}^3/h$. Průtok infiltrací na jedno nové okno činí $2,16\text{ m}^3/h$, tj. na celou učebnu $6,5\text{ m}^3/h$. To je z hygienického hlediska naprosto nepřijatelné, proto navrhneme větrání okny.

4.3.2 Větrání okny

Větrání okny umožňuje přirozenou výměnu vzduchu při účinku rozdílu teplot a působení větru. Účinek větru má však nahodilý charakter a je zdrojem diskomfortu, proto ho neuvažujeme. Veličiny nejvíce ovlivňující přirození větrání jsou rozměry oken a rozdíl teploty venkovního a vnitřního vzduchu (uvedená rovnice platí pouze pro případ, že teplota exteriéru je nižší, než teplota interiéru) proto zde uvedu dva příklady větrání pro zimní období ($-15\text{ }^\circ\text{C}$) a „jarní“ teplotu $18\text{ }^\circ\text{C}$. Okno bude otevřené na ventilaci v části „A“, protože žáci by si neměli sami bez pedagogického dozoru otevírat horní části oken.

$$V_p = \frac{2 \cdot \mu \cdot a}{3 \cdot \varrho_s} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \varrho_e \cdot \varrho_i \cdot (\varrho_e - \varrho_i) \cdot g}{(b^{-1} \cdot (\varrho_i^{0,33} + \varrho_e^{0,33}))^3}} [m^3/s]$$

kde:

μ – výtokový součinitel pro kyvná okna, závisí na úhlu otevření okna [-]

ϱ_e ; ϱ_i – hustota vzduchu v exteriéru a interiéru [Pa]

ϱ_s – střední hustota vzduchu $\varrho_s = 0,5 \cdot (\varrho_e + \varrho_i)$ [Pa]

a – šířka okna [m]

b – výška okna [m]

g – gravitační zrychlení [m/s^2]

4.3.2.1 Návrh přirozeného větrání otevřením okna na ventilaci

Tento výpočet bude simulovat nepřetržité větrání pomocí ventilace spodních částí oken, které si mohou žáci sami otevřít. Teplotu interiéru uvažují 20 °C.

Výpočet:

Zimní období (-15 °C):

$$V_p = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 1,174}{3 \cdot (0,5 \cdot (1,350 + 1,189))} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,350 \cdot 1,189 \cdot (1,350 - 1,189) \cdot 9,82}{(0,7^{-1} \cdot (1,189^{0,33} + 1,350^{0,33}))^3}} = 0,0383 m^3/s = 138 m^3/h$$

Jarní období (18 °C):

$$V_p = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 1,174}{3 \cdot (0,5 \cdot (1,197 + 1,189))} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,197 \cdot 1,189 \cdot (1,197 - 1,189) \cdot 9,82}{(0,7^{-1} \cdot (1,189^{0,33} + 1,197^{0,33}))^3}} = 0,0088 m^3/s = 31,6 m^3/h$$

Vypočtené hodnoty jsou pro půlku části „A“ okna, tedy v zimě možno vyvětrat třemi okny $138 \cdot 6 = 828 m^3/h$, na jaře pak $190 m^3/h$.

V učebně se době měření průměrně vyučovalo 16 žáků, pro minimální splnění budovy třídy C vychází dávka vzduchu na $16,2 m^3/h$, tzn., že za hodinu potřebuji přivést do učebny minimálně $260 m^3/h$ čerstvého vzduchu. V jarním období částí „A“ okna to je nedostačující, proto musíme ještě plně otevřít část „B“ okna.

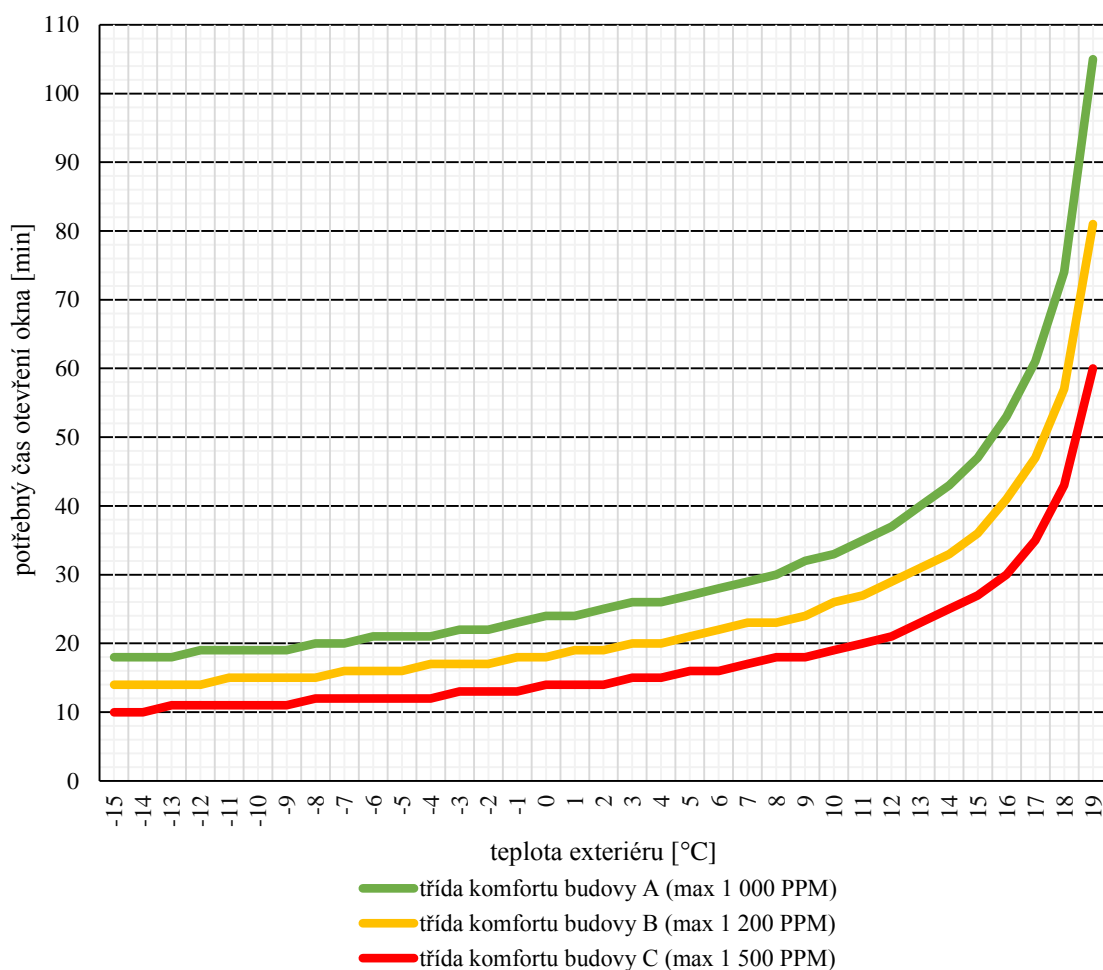
$$V_p = \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 1,174}{3 \cdot (0,5 \cdot (1,197 + 1,189))} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,197 \cdot 1,189 \cdot (1,197 - 1,189) \cdot 9,82}{(1,355^{-1} \cdot (1,189^{0,33} + 1,197^{0,33}))^3}} = 0,103 m^3/s = 371 m^3/h$$

Pro náš typický jarní den (teplota exteriéru 18 °C) je nutné mít otevřená všechna spodní okna v učebně na ventilaci a úplně otevřít půlku horní části okna na 12 min. Spodní částí oken zajistí $190 m^3/h$ a horní za 12 min $74 m^3/h$ ($0,103 \cdot 720 = 74 m^3/h$). Toto větrání zaručí přísun $264 m^3/h$ vzduchu, což je více než požadovaných $260 m^3/h$.

4.3.2.2 Návrh nárazového větrání horní části okna

Tento výpočet slouží k typické situaci, kdy učitel přijde do učebny na začátku vyučovací hodiny a otevře naplno polovinu horní části okna. Závislost ukazuje graf č. 12. Objem místnosti je 192,1 m³. Pro třídu komfortu budovy A je počítáno s potřebou 454 m³/h čerstvého vzduchu, pro třídu komfortu B 349 m³/h a pro třídu C 260 m³/h.

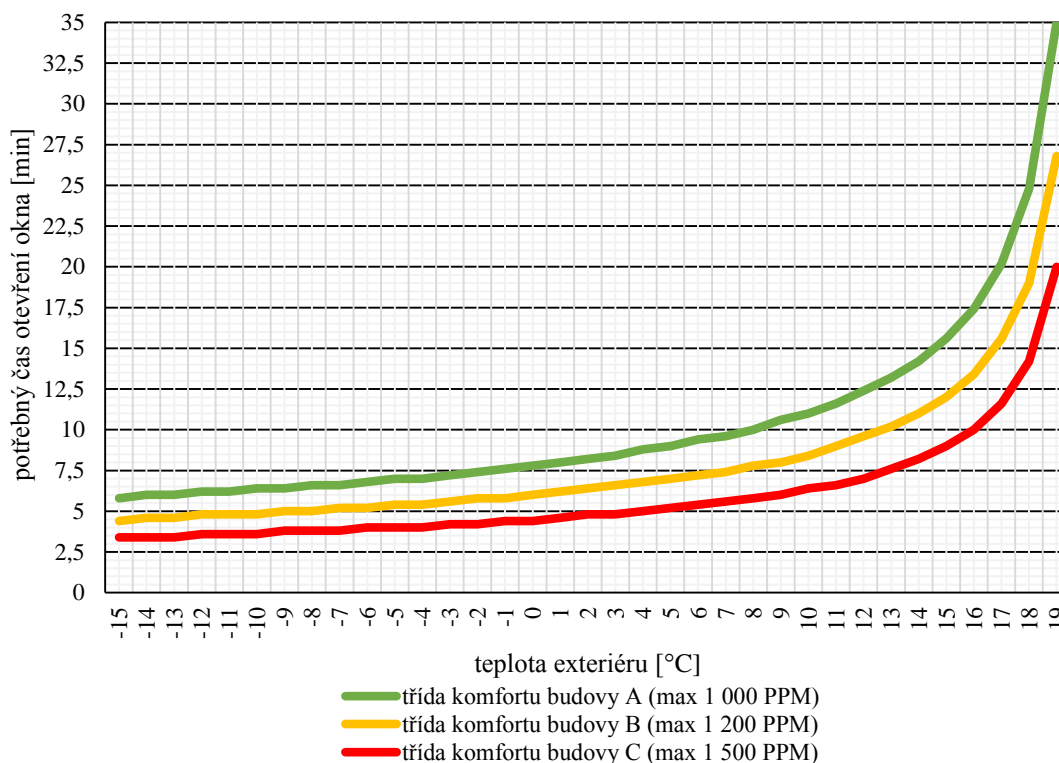
závislost potřebné doby otevření jednoho okna pro výměnu celého požadovaného vzduchu na venkovní teplotě



Graf 12: Závislost potřebné doby otevření jednoho okna pro výměnu celého požadovaného vzduchu na venkovní teplotě

Z grafu je patrné, že vyvětrání jedním oknem i v zimních měsících téměř nemožné, nemluvě o diskomfortu, které by 20 min otevřené jedno okno při -15 °C způsobilo na zdraví žáků. Hranice vyvětrání celé učebny jedním plně otevřeným oknem za jednu vyučovací hodinu končí při venkovní teplotě cca 15 °C pro nejlepší třídu budovy A. Jedním oknem je tedy téměř nereálné dosáhnout kvalitních vnitřních podmínek v učebně. V případě otvírání jednoho okna by musely být zvoleny kratší intenzity větrání, než 1× za vyučovací hodinu. Pro rychlejší výměnu vzduchu v učebně tedy můžeme otevřít více oken. Graf č. 13 zobrazuje totožné podmínky pouze s otevřením třech polovičních částí „B“ okna.

závislost potřebné doby otevření tří oken pro výměnu celého požadovaného vzduchu na venkovní teplotě



Graf 13: Závislost potřebné doby otevření tří oken pro výměnu celého požadovaného vzduchu na venkovní teplotě

Vyhodnocení návrhu přirozeného větrání:

Pro přirozené větrání je typický fakt, že vlivem proměnného rozdílu teplot, které odpovídají okamžitým klimatickým podmínkám a nahodilému působení větru je jeho účinek zcela variabilní a těžko přesně spočitatelné. Kvůli těmto skutečnostem nemůžeme považovat přirozené větrání jako dostatečné a plnohodnotné. Nemůžeme ho kvalitně regulovat a tím zabezpečit stejné mikroklimatické podmínky interiéru, proto by se s přirozeným větráním mělo uvažovat pouze u budov s malými požadavky na výměnu vzduchu.

4.4 Průtoky vzduchu a tlakové poměry

Přívod a odvod vzduchu tedy budeme řešit pomocí dvou VZT zařízení. Obě budou pracovat v rovnotlakém režimu, tj. množství přiváděného vzduchu se bude rovnat množství vzduchu odváděného. Pro určení dávky vzduchu jsem vzal v potaz výpočet v kap. 4.2. Vypočtená hodnota dle třídy budovy B je $21,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Přesto zvolím ještě nižší dávku a to $20 \text{ m}^3/\text{h}$, což je nejnižší možná dávka z vyhlášky č. 343/2009Sb. Ve všech učebnách totiž počítám s počtem 25 žáků, ačkoliv průměrná reálná obsazenost za posledních 15 let v této škole byla kolem 17 žáků na učebnu. Při průměrném obsazení 17 žáků je potom dávka vzduchu $29,4 \text{ m}^3/\text{h}$, které zajistí třídu budovy A. Je tedy počítáno s možným plným obsazením učeben a přijatelnou třídou budovy C, avšak demografický vývoj obce tomuto faktu nenasvědčuje.

Tabulka 8: Navržené průtoky vzduchu

	Číslo místnosti	Název místnosti	Plocha [m²]	Světlá výška [m]	Objem místnosti [m³]	Dávka vzduchu na žáka [m³/h]	Požadavky [m³/h]		Výměna vzduchu [x/h]	Přívod [m³/h]	Odvod [m³/h]
							počet žáků	ostatní			
	Zařízení č. 1 - budovy 1+2										
1.PP	0.1.8	Učebna jazyková	55,4	2,8	155,0	20	12	vyučující 50m³/h	1,9	290	290
1.NP	1.1.4	Družina/jazyková uč.	42,0	3,3	138,7	20	16	vyučující 50m³/h	2,7	370	370
	1.1.2	PC učebna	57,2	3,3	188,8	20	24	vyučující 50m³/h	2,8	530	530
2.NP	2.1.8	Učebna	59,1	3,25	192,1	20	25	vyučující 50m³/h	2,9	550	550
	2.1.9	Učebna	35,8	3,25	116,2	20	18	vyučující 50m³/h	3,5	410	410
	2.1.7	Učebna	59,0	3,25	191,8	20	25	vyučující 50m³/h	2,9	550	550
	2.1.6	Učebna	58,6	3,25	190,3	20	25	vyučující 50m³/h	2,9	550	550
	2.1.5	Učebna	58,6	3,25	190,3	20	25	vyučující 50m³/h	2,9	550	550
	2.2.1	Třída MŠ I	112,7	2,5 - 3,05	316,4	30	25	vyučující 50m³/h	2,5	800	
	2.2.4	Společné WC + umývárny	43,6	2,5 - 2,75	123,1	WC 8×50m³, umyv. 10×30m³, PISOÁR 2×25m³, sprcha 2×25m³			6,5		800
									suma	4600	4600
	Zařízení č. 2 - budova 3										
1.NP	1.3.6	Učebna 1	57,9	3,85	222,8	20	25	vyučující 50m³/h	2,5	550	550
	1.3.8	Učebna 2	58,8	3,5	205,8	20	25	vyučující 50m³/h	2,7	550	550
2.NP	2.3.1	Třída MŠ II	120,8	3,65	440,8	30	25	vyučující 50m³/h	1,8	800	800
	2.3.3	Učebna	57,1	3,85	219,9	20	25	vyučující 50m³/h	2,5	550	550
	2.3.4	Učebna	59,4	3,85	228,7	20	25	vyučující 50m³/h	2,4	550	550
									suma	3000	3000

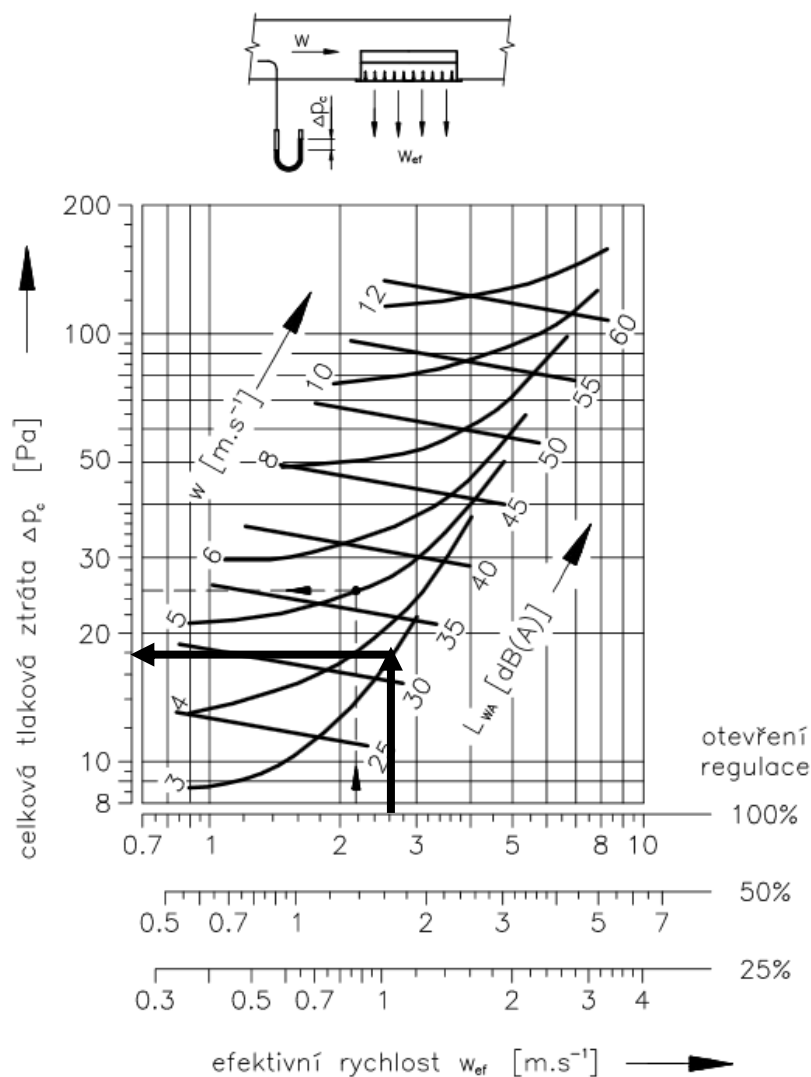
4.5 Návrh distribučních prvků vzduchu

4.5.1 Odvodní prvky

Na odvodní potrubí navrhuji jednořadé odvodní obdélníkové komfortní vyústky VNKM do kruhového potrubí od výrobce Mandík s regulací R1. Toto řešení volím z důvodu jednoduché montáže a nepotřeby zhotovovat SDK opláštění kolem trouby (tzv. „kastlík“).

Návrh vyústky

Do každé místnosti budu navrhovat jednu vyústku. Podle uvažovaného průtoku vzduchu určím tlakovou ztrátu a akustický výkon. Uvažuji průtok $V = 550 \text{ m}^3/\text{h}$. Mám průměr trouby 250 mm. Víím rychlost vzduchu v potrubí, $w = 3,1 \text{ m/s}$. Předběžně si navrhnu rozměr vyústky na $1225 \times 85 \text{ mm}$, ta má efektivní plochu $S_{\text{ef}} = 0,0557 \text{ m}^2$. Dle vzorce $w_{\text{ef}} = V/(3600 \cdot S_{\text{ef}})$ zjistím efektivní rychlost w_{ef} a z diagramu odečtu tlakovou ztrátu 18 Pa a akustický výkon 32dB(A).



Obrázek 21: Diagram tlakové ztráty a akustického výkonu jednořadé vyústky

Tabulka 9: Navržené odvodní vyústky

Číslo místnosti	Název místnosti	Odvod [m³/h]	Rozměr vyústky [mm]	Průměr potrubí [mm]	Počet řad	Efektivní plocha S_{ef} [m²]	Tlaková ztráta [Pa]	Akustický výkon L_{WA} [dB(A)]
Zařízení č. 1 - budovy 1+2								
0.1.8	Učebna jazyková	290	625×85	200	1	0,028	19	33
1.1.4	Družina/jazyková uč.	370	1025×85	225	1	0,0465	14	26
1.1.2	PC učebna	530	1225×85	250	1	0,0557	18	32
2.1.8	Učebna	550	1225×85	250	1	0,0557	18	32
2.1.9	Učebna	410	1025×85	225	1	0,0465	14	26
2.1.7	Učebna	550	1225×85	250	1	0,0557	18	32
2.1.6	Učebna	550	1225×85	250	1	0,0557	18	32
2.1.5	Učebna	550	1225×85	250	1	0,0557	18	32
2.2.4	Společné WC + umývárny	800	1025×125	315	1	0,0775	19	33
Zařízení č. 2 - budova 3								
1.3.6	Učebna 1	550	1225×85	250	1	0,0557	18	32
1.3.8	Učebna 2	550	1225×85	250	1	0,0557	18	32
2.3.1	Třída MŠ II	800	1225×125	300	1	0,0929	19	30
2.3.3	Učebna	550	1225×85	250	1	0,0557	18	32
2.3.4	Učebna	550	1225×85	250	1	0,0557	18	32

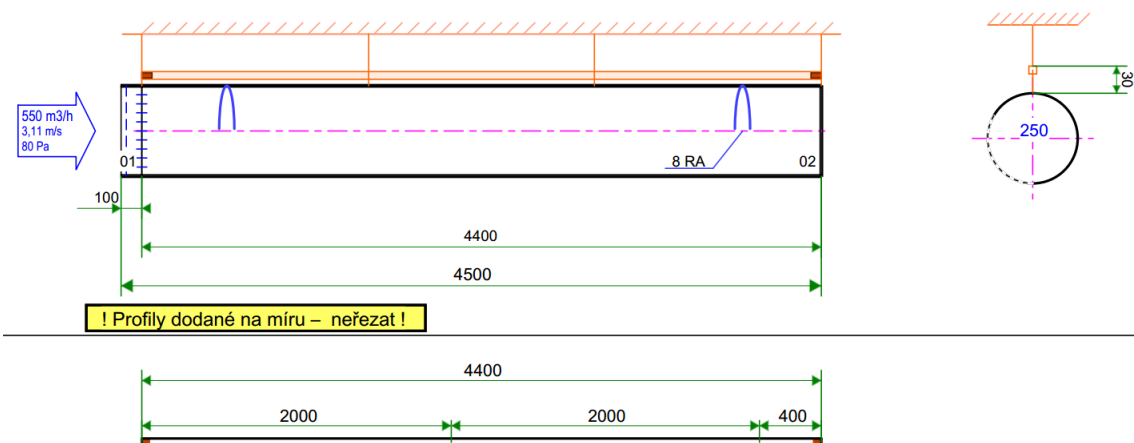
4.5.2 Přívodní prvky

Distribuci vzduchu do učeben budou zajišťovat textilní vyústky s mikroperforací. Ve všech místnostech kromě třídy MŠ1 (2.2.1) volím kruhové vyústky s výztužnými ramínky. Ramínka udrží tvar kruhu i v době vypnutí VZT zařízení. V místnosti 2.2.1 jsem navrhl půlkruhový tvar textilní vyústky z důvodu nízké světlé výšky místnosti (2,50 m-3,05 m), abych dodržel rychlost v pobytové vzdálenosti.

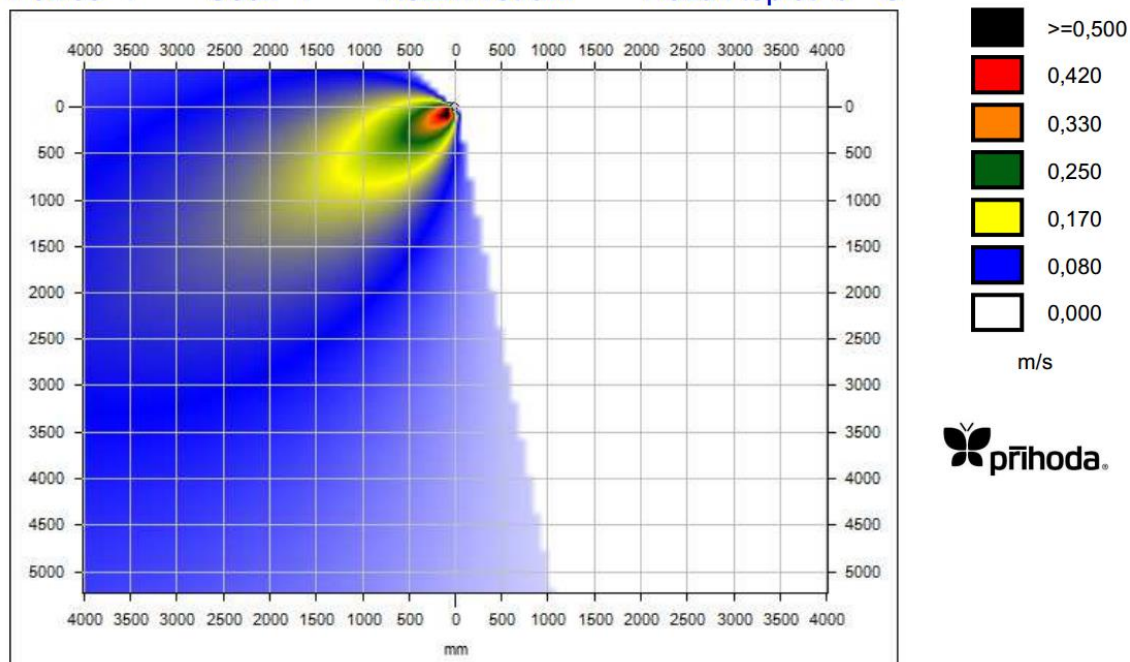
Řešení textilních vyústek jsem vybral z důvodu nízké pořizovací ceny, rychlosti instalace, vhodnosti realizace do stávajícího stavu a hlavně z estetických aspektů. Předpokládá se, že se textilní vyústky stanou výrazným prvkem v interiéru učeben. Barevnost textilní vyústky bude odpovídat výmalbě učebny.

Rozměry a výpočet byl provedeny v návrhovém softwaru firmy Příhoda s. r. o. Výstupy ze softwaru jsou uvedeny v příloze P1.

Pozice 1 - 1ks ... 1 - C250/4500 FB/NMS-5AL/LGO + RA
Spacing between racks 500 mm



Pozice 1 Úsek 1 Režim větrání Rozdíl teplot 0 ° C



Hladina akustického výkonu v oktávních pásmech

Č. objednávky Javornice

Pozice: 1 / 15

Matouš Zachoval / ZŠ



Úsek	Rozměr [mm]	Tlak [Pa]	Průtok [m³/h]	Rychlost [m/s]
1	250	80	550	3,11

Úsek			fm	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Duct	Li	dB	14	17	16	15	14	13	12	8	0
	Perforace	Li	dB	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mikroperforace	Li	dB	2	2	2	3	3	2	0	0	0
	Lw/m	23	dB	14	17	16	15	14	13	12	8	0

Fabric diffuser is line source with sound power level per meter (Lw/m).

Obrázek 22: Návrh textilních výustek

Tabulka 10: Navržené přívodní vyústky

Číslo místnosti	Název místnosti	Přívod [m ³ /h]	Průměr přívodního prvku [mm]	Délka přívodního prvku [mm]	Rychlost při vstupu do vyústky [m/s]	Tlaková ztráta prvku [Pa]	Akustický výkon LWA [dB(A)]
Zařízení č.1 - budovy 1+2							
0.1.8	Učebna jazyková	290	200	4000	2,56	80	17
1.1.4	Družina/jazyková uč.	370	200	4000	3,27	80	22
1.1.2	PC učebna	530	250	6000	3,00	80	22
2.1.8	Učebna	550	250	4500	3,11	80	23
2.1.9	Učebna	410	250	4500	2,86	80	17
2.1.7	Učebna	550	250	4500	3,11	80	23
2.1.6	Učebna	550	250	6000	3,11	80	23
2.1.5	Učebna	550	250	6000	3,11	80	23
2.2.1	Třída MŠ I (užší část)	400	225	5000	2,85	80	20
2.2.1	Třída MŠ I (širší část)	400	225	6000	2,85	80	20
Zařízení č. 2 - budova 3							
1.3.6	Učebna 1	550	250	8000	3,11	80	23
1.3.8	Učebna 2	550	250	8000	3,11	80	23
2.3.1	Třída MŠ II	800	315	9000	2,85	80	23
2.3.3	Učebna	550	250	6000	3,11	80	23
2.3.4	Učebna	550	250	4000	3,11	80	23

4.5.3 Návrh větrací mřížky do dveří

Pro redistribuci vzduchu mezi místnostmi 2.2.4 a 2.2.1 je nutné navrhnout větrací mřížku. V tomto případě bude jednodušší ji zhotovit do stávajícího dveřního křídla. Větrací mřížku vyberu od firmy Systemair s obchodním názvem Nova-D.

Tabulka 11: Návrh větracích mřížek do dveří

Číslo místnosti	Název mřížky	Rozměry [mm]	V [m ³ /h]	Efektivní plocha A _{ef} [m ²]	Efektivní rychlost w _{ef} [m/s]
2.2.1/2.2.4	NOVA-D-2-600×400-UR1-ELOX	600×400	800	0,066	3,37

4.6 Dimenzování potrubí

Tabulka 12: Dimenzování zařízení č. 1

ZAŘÍZENÍ Č. 1 - BUDOVA 1+2														
Z VÝKRESU				HODNOTY							TLAKOVÁ ZTRÁTA CELKEM		POZNÁMKA	
				PŘEDBĚŽNÉ		SKUTEČNÉ VYPOČTENÉ								
č.	V [m3/h]	V [m3/s]	L [m]	v' [m/s]	S' [m2]	d' [mm]	dh [mm]	v [m/s]	ξ [-]	p _{z,t} [Pa/m]	p _{z,m} [Pa]	Δp _{ext} [Pa]		
úsek potrubí	průtok vzduchu	průtok vzduchu	délka úseku	předběžná rychlost	předběžná plocha potrubí	rovnocenný průměr	hydraulický průměr	skutečná rychlost v průřezu	součet součinitelů vřazených odporů tvarovek	tlaková ztráta třením	místní tlaková ztráta	celková tlaková ztráta		
hl. větev přívod				<div>$S' = \frac{V}{v'}$$d' = \sqrt{\frac{4 \cdot S'}{\pi}} * 1000$$v = \frac{V}{\pi * \left(\frac{d_h}{2}\right)^2}$</div> <div>R Z=0,5 ξ_{pv2} Z+R*L</div>										
P1	400	0,111	2,50	2,85	0,039	223	225	2,79	0,6	0,45	2,8	3,9	90°	
P2	800	0,222	12,60	3,21	0,069	297	315	2,85	1,2	0,31	5,9	9,8	R, koleno, odbočka	
P3	1 900	0,528	10,00	3,57	0,148	434	450	3,32	0,6	0,21	4,0	6,1	R, odbočka	
P4	2 860	0,794	11,50	3,92	0,203	508	500	4,05	0,9	0,31	8,8	12,4	R, koleno	
P5	3 410	0,947	3,30	4,28	0,221	531	500	4,82	0,3	0,45	4,2	5,7	odbočka	
P6	4 310	1,197	3,30	4,64	0,258	573	560	4,86	1,2	0,31	17,0	18,0	R, koleno, odbočka	
P7	4 600	1,278	1,50	5,00	0,256	570	560	5,19	1,2	0,45	19,4	20,1	2×koleno	
hl. větev odvod				sání		25,00		Σ potrubí		75,9				
				regulační klapka		30,00		požární klapka 2×10		20,0		SUMA PŘÍVOD:		
				tlumič hluku		20,00		distribuční element		80,0		250,93 Pa		
O1	800	0,222	18,90	2,00	0,111	376	315	2,85	1,2	0,67	5,9	18,5	2× koleno	
O2	1 350	0,375	12,00	2,43	0,154	443	355	3,79	0,6	0,45	5,2	10,6	R, odbočka	
O3	1 760	0,489	4,70	2,85	0,172	467	400	3,89	0,6	0,45	5,4	7,6	R, odbočka	
O4	2 310	0,642	1,30	3,29	0,195	498	450	4,03	0,6	0,45	5,9	6,4	R, odbočka	
O5	2 860	0,794	7,50	3,72	0,214	521	500	4,05	0,6	0,31	5,9	8,2	R, odbočka	
O6	3 410	0,947	4,60	4,14	0,229	540	500	4,82	1,2	0,45	16,8	18,8	R, odbočka, koleno	
O7	4 310	1,197	3,30	4,58	0,261	577	560	4,86	0,3	0,31	4,3	5,3	odbočka	
O8	4 600	1,278	1,50	5,00	0,256	570	560	5,19	1,2	0,45	19,4	20,1	2×koleno	
				výtlak		25,00		Σ potrubí		95,5				
				regulační klapka		30,00		požární klapka 2×10		20,0		SUMA ODVOD:		
				tlumič hluku		20,00		distribuční element		19,0		209,47 Pa		
Pa	400	0,111		3,00	0,037	217	225	2,79			0,0	0,0		
Pb	550	0,153		3,00	0,051	255	250	3,11			0,0	0,0		
Pc	1 100	0,306		3,00	0,102	360	315	3,92			0,0	0,0		
Pd	410	0,114		3,00	0,038	220	250	2,32			0,0	0,0		
Pe	960	0,267		3,00	0,089	336	315	3,42			0,0	0,0		
Pf	530	0,147		3,00	0,049	250	250	3,00			0,0	0,0		
Pg	900	0,250		3,00	0,083	326	315	3,21			0,0	0,0		
Ph	290	0,081		3,00	0,027	185	200	2,56			0,0	0,0		
Oa	550	0,153		3,00	0,051	255	250	3,11			0,0	0,0		
Ob	410	0,114		3,00	0,038	220	225	2,86			0,0	0,0		
Oc	530	0,147		3,00	0,049	250	250	3,00			0,0	0,0		
Od	370	0,103		3,00	0,034	209	200	3,27			0,0	0,0		
Oe	900	0,250		3,00	0,083	326	315	3,21			0,0	0,0		
Of	290	0,081		3,00	0,027	185	200	2,56			0,0	0,0		

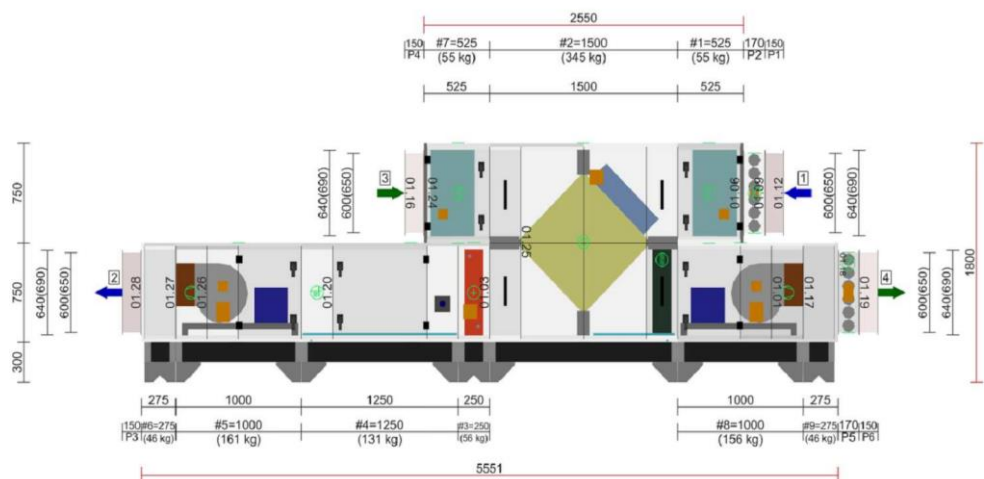
Tabulka 13: Dimenzování zařízení č. 2

ZAŘÍZENÍ Č. 2 - BUDOVA 3													
Z VÝKRESU				HODNOTY							TLAKOVÁ ZTRÁTA CELKEM		POZNÁMK A
				PŘEDBĚŽNÉ		SKUTEČNÉ VYPOČTENÉ							
č.	V [m3/h]	V [m3/s]	L [m]	v' [m/s]	S' [m2]	d' [mm]	dh [mm]	v [m/s]	ξ [-]	pZ,t [Pa/m]	pZ,m [Pa]	Δpext [Pa]	
úsek potrubí	průtok vzduchu	průtok vzduchu	délka úseku	předběžná rychlost	předběžná plocha potrubí	rovnocenný průměr	hydraulický průměr	skutečná rychlost v průřezu	součet součinitelů vřazených odporů tvarovek	tlaková ztráta třením	místní tlaková ztráta	celková tlaková ztráta	
hl. větev přívod					$S' = \frac{V}{v'} \quad d' = \sqrt{\frac{4 \cdot S'}{\pi} \cdot 1000} \quad v = \frac{V}{\pi \cdot \left(\frac{d_h}{2}\right)^2} \quad R \quad Z=0,5 \cdot \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad Z+R \cdot L$								
P1	550	0,153	1,50	3,11	0,049	250	250	3,11	0	0,45	0,0	0,7	rovné potrubí
P2	1 100	0,306	11,40	4,05	0,075	310	315	3,92	2,1	0,45	19,4	24,5	R, 2×koleno, odbočka
P3	3 000	0,833	7,00	5,00	0,167	461	450	5,24	3,7	0,45	60,9	64,1	R, 4× koleno, odbočka
hl. větev odvod				sání				25,00	Σ potrubí			89,3	
				regulační klapka				30,00	požární klapka 2×10			20,0	SUMA PŘÍVOD:
				tlumič hluku				20,00	distribuční element			80,0	264,27 Pa
O1	550	0,153	4,50	3,00	0,051	255	250	3,11	0	0,45	0,0	2,0	2× koleno
O2	1 100	0,306	2,00	3,50	0,087	333	315	3,92	1,2	0,45	11,1	12,0	R, odbočka
O3	1 900	0,528	1,20	4,00	0,132	410	400	4,20	1,2	0,45	12,7	13,2	R, odbočka
O4	3 000	0,833	7,00	5,00	0,167	461	450	5,24	3,7	0,45	60,9	64,1	R, odbočka, 4× koleno
				výtlak				25,00	Σ potrubí			91,3	
				regulační klapka				30,00	požární klapka 2×10			20,0	SUMA ODVOD:
				tlumič hluku				20,00	distribuční element			19,0	205,33 Pa
Pa	550	0,153		3,00	0,051	255	250	3,11			0,0	0,0	
Pb	1 100	0,306		3,00	0,102	360	315	3,92			0,0	0,0	
Pc	800	0,222		4,00	0,056	266	315	2,85			0,0	0,0	
Oa	550	0,153		3,00	0,051	255	250	3,11			0,0	0,0	
Ob	1 100	0,306		3,00	0,102	360	315	3,92			0,0	0,0	
Oc	800	0,222		3,00	0,074	307	300	3,14			0,0	0,0	

4.7 Návrh VZT jednotek

Jednotky budou navrženy v návrhovém softwaru Aerocad od firmy Remak. Zařízení budou obsahovat deskový rekuperátor, vodní ohřivač, ventilátor, ventilátor, nezbytné filtry a zvlhčovač. Celá specifikace VZT zařízení je obsažena v příloze P2 a P3.

Císlo / Název zařízení	01 / zařízení č.1 - nová budova		ANALY 12.10.2023 Aerocad XP-Cert www.aerocadxp-certification.com					
Určení jednotky	Standardní prostředí							
STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ								
Základní parametry zařízení								
Druh, rozměr	AeroMaster XP 06							
Typ řídicího systému	Není							
Hmotnost (+/-10%)	1 164 kg							
Umístění jednotky	Vnitřní							
Materiálové provedení								
Vnější plášť	Lakovaný plech (RAL 9002)							
Vnitřní plášť	Pozinkovaný plech							
	Přívod	Odvod						
Průtok vzduchu	4600 m³/h	4600 m³/h						
Externí tlaková rezerva	262 Pa	313 Pa						
Rychlost v průřezu	2.81 m/s	2.81 m/s						
Příkon ventilátorů	2.85 kW	2.56 kW						
1. stupeň filtrace	M5	G3						
2. stupeň filtrace	-	-						
SFP _P	2233 W.m³.s							
Parametry pláště dle EN1886								
Celkový příkon jednotky	31.66 kW	Mechanická stabilita	D2(M)					
Napájecí napětí		Netěsnost skříně	L2(M)					
Celkový proud I _{max}		Termická izolace	T3(M)					
		Faktor tepelných mostů	TB3(M)					
SFP _{AHU}	4237 W.m³.s	Netěsnost mezi filtrem a rámem	< 0,5 % (F9)					
Nejdůležitější parametry vybraných komponentů								
	Na straně vzduchu		Na straně média					
Zpětný zisk tepla	-15.0 → 3.9 °C		54 %					
Ohřev	3.9 → 20.0 °C		25.1 kW					
Vlhčení	20.0 → 20.0 °C		4 → 37 %					
			70/34 °C, Voda, 2.4 kPa, 0.61 m³/h					
			35.0 kg/h, 26.3 kW					
Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení								
Hlukové parametry zařízení								
	LwA _{okt} * [dB]							
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Přívod - sání	47.7	58.9	69.5	67.7	66.6	66.3	60.0	55.4
Přívod - výtlač	51.1	64.2	75.5	75.3	76.8	79.4	76.0	71.4
Přívod - okolí	42.7	46.8	55.4	47.7	46.9	49.1	46.7	38.2
Odvod - sání	57.7	69.7	70.9	67.6	71.9	71.0	67.8	59.6
Odvod - výtlač	58.3	71.4	72.7	72.5	77.9	77.0	74.8	67.6
Odvod - okolí	51.7	55.6	54.8	46.6	50.2	48.8	47.5	36.4
	LwA** [dB(A)]							
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Přívod - sání	47.7	58.9	69.5	67.7	66.6	66.3	60.0	55.4
Přívod - výtlač	51.1	64.2	75.5	75.3	76.8	79.4	76.0	71.4
Přívod - okolí	42.7	46.8	55.4	47.7	46.9	49.1	46.7	38.2
Odvod - sání	57.7	69.7	70.9	67.6	71.9	71.0	67.8	59.6
Odvod - výtlač	58.3	71.4	72.7	72.5	77.9	77.0	74.8	67.6
Odvod - okolí	51.7	55.6	54.8	46.6	50.2	48.8	47.5	36.4
* Hladiny akustického výkonu v oktavových pásmech								
** Celková hladina akustického výkonu								
Bokorys servisní strany								
					Číslování větví: 1 - venkovní vzduch, 2 - přívodní vzduch, 3 - odtahový vzduch, 4 - odpadní vzduch, 5 - cirkulační vzduch			



Obrázek 23: Technické parametry a schéma zařízení č. 1

4.8 Úpravy vzduchu

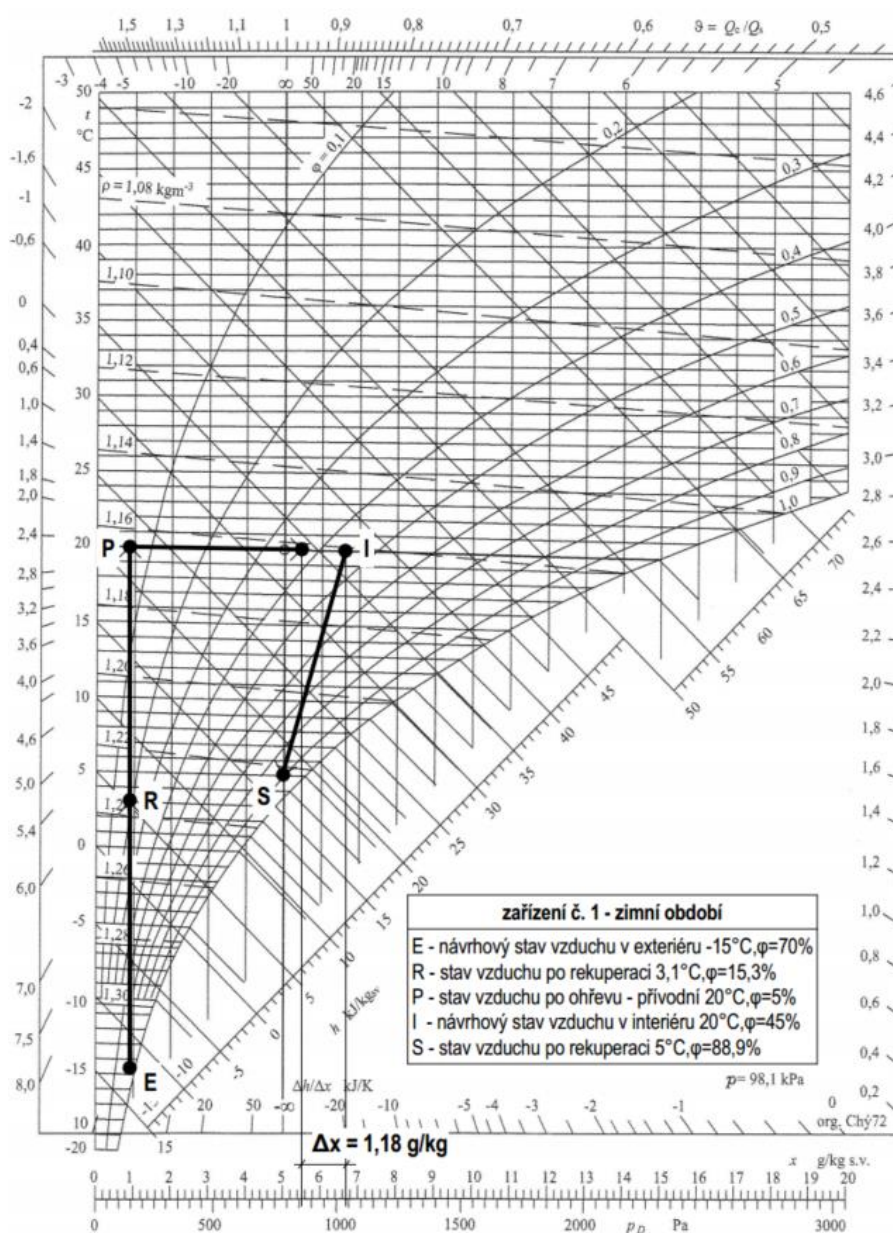
Pro snížení výkonu parního zvlhčovače jsou uvažovány vodní zisky od lidí. Uvažují průměrnou obsazenost 17 žáků na kmenovou učebnu, plné obsazení mateřské školy (30 žáků) a jednoho vyučujícího na učebnu. Produkci vodních par snížím o 25 % na žáky.

$$M_{l,zař1} = ((5 \cdot 17 + 30) \cdot 0,75) \cdot 70 + 6 \cdot 70 = 6\,457 \text{ g/h}$$

$$\Delta x_{zař1} = \frac{M_{l,zař1}}{(\rho \cdot V)} = \frac{6\,457}{(1,188 \cdot 4\,600)} = 1,18 \text{ g/kg}$$

$$M_{l,zař2} = ((4 \cdot 17 + 30) \cdot 0,75) \cdot 70 + 5 \cdot 70 = 5\,495 \text{ g/h}$$

$$\Delta x_{zař2} = \frac{M_{l,zař2}}{(\rho \cdot V)} = \frac{5\,495}{(1,188 \cdot 3\,000)} = 1,54 \text{ g/kg}$$



Obrázek 24: Úprava vzduchu pro zimní období pro zařízení č. 1

4.9 Útlum hluku

Útlum koncovým odrazem pro frekvenci 32 Hz (příklad):

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0398}{\pi}} = 0,225 \text{ m}$$

$$D = 10 \log \left[1 + \left(\frac{c}{\pi \times f \times d} \right)^{1,88} \right] = 10 \log \left[1 + \left(\frac{344}{\pi \times 32 \times 0,225} \right)^{1,88} \right] = 22,2 \text{ dB}$$

Tabulka 14: Útlum hluku přívodního potrubí pro zařízení č. 1

zařízení č. 1 - přívodní potrubí												
ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI		Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v okta- vových pásmech									
	frekvence (Hz)		32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	souč- tová hladina
L _w	Hluk ventilátoru											
L _w	Hladina akustického výkonu zdroje		0	58	71	74	74	80	79	77	70	85
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje		0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
L _w	součet		3	58	71	74	74	80	79	77	70	85
D _p	Přirozený útlum											
	rovné potrubí [m]	9,5	0	0	6	3	1	1	1	1	1	
	oblouk [ks]	2	0	0	0	0	2	4	6	6	6	
Útlum koncovým odrazem			22	17	11	7	3	1	0	0	0	
útlum tlumič hluku 1				3	6	11	22	27	30	26	21	
útlum tlumiče hluku 2				3	6	11	22	27	30	26	21	
L _{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce		0	35	43	42	23	19	12	17	20	45
L _{vy}	Hladina akustického výkonu výústky											23
K	Korekce na počet výústek								počet výús- tek:		1	0
L _s	Hladina akustického výkonu všech výústek											45
Q	směrový činitel											1
r	vzdálenost od výústky k poslu- chači											0,75
A	pohltivá plocha místnosti		plocha všech povrchů míst- nosti (m²)					217	pohltivost (-)		0,1	22
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače											41
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti											45

Tabulka 15: Útlum hluku odvodního potrubí pro zařízení č. 1

zařízení č. 1 - odvodní potrubí											
ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v okta-vových pásmech									
	frekvence (Hz)	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	souč-tová hladina
L _{vv}	Hluk ventilátoru										
L _w	Hladina akustického výkonu zdroje	0	58	70	71	68	72	71	68	60	78
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
L _w	součet	3	58	70	71	68	72	71	68	60	78
D _p	Přírozený útlum										
	rovné potrubí [m]	10	0	0	6	3	2	2	2	2	
	oblouk [ks]	4	0	0	0	0	4	8	12	12	
	Útlum koncovým odrazem	23	18	12	7	3	1	0	0	0	
	útlum tlumič hluku 1		3	6	11	22	27	30	26	21	
	útlum tlumiče hluku 2		3	6	11	22	27	30	26	21	
L _{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	0	34	40	39	15	7	0	2	4	42
L _{vy}	Hladina akustického výkonu výústky										33
K	Korekce na počet výústek							počet výús-tek:	1	0	
L _s	Hladina akustického výkonu všech výústek										43
Q	směrový činitel										2
r	vzdálenost od výústky k poslu-chači										0,4
A	pohltivá plocha místnosti	plocha všech povrchů míst-nosti (m ²)					179	pohltivost (-)		0,1	18
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače										44
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti										45

Tabulka 16: Útlum hluku sacího potrubí pro zařízení č. 1

zařízení č. 1 - sání												
ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI		Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v okta- vových pásmech									
	frekvence (Hz)		32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	souč- tová hladina
L _w	Hluk ventilátoru											
L _w	Hladina akustického výkonu zdroje		0	48	59	70	68	67	66	60	55	74
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje		0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
L _w	součet		3	48	59	70	68	67	66	60	55	74
D _p	Přirozený útlum											
	rovné potrubí [m]	11	0	0	7	3	2	2	2	2	2	
	oblouk [ks]	4	0	0	0	0	4	8	12	12	12	
	Útlum koncovým odrazem	12	7	3,5	1	0	0	0	0	0	0	
útlum tlumič hluku 1												
útlum tlumiče hluku 2												
L _{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce		0	41	49	65	62	57	53	46	42	68
L _{vy}	Hladina akustického výkonu vyústky											68
K	Korekce na počet vyústek								počet vyús- tek:		1	0
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek											71
Q	směrový činitel											2
r	vzdálenost od vyústky k poslu- chači											8
A	pohltivá plocha místnosti		plocha všech povrchů míst- nosti (m²)						pohltivost (-)		0,1	0
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače											45
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti											45

Tabulka 17: Útlum hluku výtlačného potrubí pro zařízení č. 1

zařízení č. 1 - výtlač											
ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v okta- vových pásmech									
	frekvence (Hz)	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	souč- tová hladina
L _{vv}	Hluk ventilátoru										
L _w	Hladina akustického výkonu zdroje	0	58	71	73	73	78	77	75	68	83
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
L _w	součet	3	58	71	73	73	78	77	75	68	83
D _p	Přirozený útlum										
	rovné potrubí [m]	9	0	0	5	3	1	1	1	1	
	oblouk [ks]	2	0	0	0	0	2	4	6	6	
	Útlum koncovým odrazem	12	7	3,5	1	0	0	0	0	0	
	útlum tlumič hluku 1	0	3	6	10	20	25	28	24	18	
	útlum tlumiče hluku 2										
L _{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	0	48	57	59	49	48	42	43	42	62
L _{vy}	Hladina akustického výkonu vy- ústky										62
K	Korekce na počet vyústek							počet vyús- tek:		1	0
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek										65
Q	směrový činitel										2
r	vzdálenost od vyústky k poslu- chači										5
A	pohltivá plocha místnosti	plocha všech povrchů míst- nosti (m ²)						pohltivost (-)	0,1		0
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače										43
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti										45

Tabulka 18: Útlum hluku přívodního potrubí pro zařízení č. 2

zařízení č. 2 - přívodní potrubí												
ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI		Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v okta- vových pásmech									
	frekvence (Hz)		32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	souč- tová hladina
L _w	Hluk ventilátoru											
L _w	Hladina akustického výkonu zdroje		0	66	74	81	86	83	86	83	75	91
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje		0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
L _w	součet		3	66	74	81	86	83	86	83	75	91
D _p	Přirozený útlum											
	rovné potrubí [m]	9,5	0	0	6	3	1	1	1	1	1	
	oblouk [ks]	3	0	0	0	0	3	6	9	9	9	
	Útlum koncovým odrazem		19	14	9	5	2	1	0	0	0	
	útlum tlumič hluku 1			3	6	11	22	27	30	26	21	
	útlum tlumiče hluku 2			3	6	11	22	27	30	26	21	
L _{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce		0	46	47	51	36	21	16	20	22	53
L _{vy}	Hladina akustického výkonu výústky											23
K	Korekce na počet výústek								počet vyús- tek:		1	0
L _s	Hladina akustického výkonu všech výústek											53
Q	směrový činitel											1
r	vzdálenost od výústky k poslu- chači											1,25
A	pohltivá plocha místnosti		plocha všech povrchů míst- nosti (m²)					417	pohltivost (-)		0,1	42
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače											44
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti											45

Tabulka 19: Útlum hluku odvodního potrubí pro zařízení č. 2

zařízení č. 2 - odvodní potrubí											
ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v okta-vových pásmech									
	frekvence (Hz)	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	souč-tová hladina
L _{vv}	Hluk ventilátoru										
L _w	Hladina akustického výkonu zdroje	0	57	71	77	77	78	78	74	69	84
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
L _w	součet	3	57	71	77	77	78	78	74	69	84
D _p	Přírozený útlum										
	rovné potrubí [m]	7,5	0	0	5	2	1	1	1	1	
	oblouk [ks]	3	0	0	0	0	3	6	9	9	
	Útlum koncovým odrazem	19	14	9	5	2	1	0	0	0	
	útlum tlumič hluku 1		3	6	11	22	27	30	26	21	
	útlum tlumiče hluku 2		3	6	11	22	27	30	26	21	
L _{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	0	37	45	48	27	16	8	12	17	50
L _{vy}	Hladina akustického výkonu výústky										32
K	Korekce na počet vyústek							počet vyús-tek:	1	0	
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek										50
Q	směrový činitel										2
r	vzdálenost od výústky k poslu-chači										1,4
A	pohltivá plocha místnosti	plocha všech povrchů míst-nosti (m ²)					417	pohltivost (-)	0,1	42	
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače										42
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti										45

Tabulka 20: Útlum hluku sacího potrubí pro zařízení č. 2

zařízení č. 2 - sání											
ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v okta- vových pásmech									
	frekvence (Hz)	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	souč- tová hladina
L _w	Hluk ventilátoru										
L _w	Hladina akustického výkonu zdroje	0	59	70	76	76	77	74	67	64	82
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
L _w	součet	3	59	70	76	76	77	74	67	64	82
D _p	Přirozený útlum										
	rovné potrubí [m]	3	0	0	2	1	0	0	0	0	
	oblouk [ks]	4	0	0	0	0	4	8	12	12	
	Útlum koncovým odrazem	14	9	5	2	0	0	0	0	0	
	útlum tlumič hluku 1										
	útlum tlumiče hluku 2										
L _{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	0	50	63	73	72	68	61	55	51	77
L _{vy}	Hladina akustického výkonu vyústky										77
K	Korekce na počet vyústek							počet vyús- tek:	1	0	
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek										80
Q	směrový činitel										2
r	vzdálenost od vyústky k poslu- chači										22
A	pohltivá plocha místnosti	plocha všech povrchů míst- nosti (m ²)						pohltivost (-)		0,1	0
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače										45
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti										45

Tabulka 21: Útlum hluku výtlačného potrubí pro zařízení č. 2

zařízení č. 2 - výtlač											
ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v okta- vových pásmech									
	frekvence (Hz)	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	souč- tová hladina
L _{vv}	Hluk ventilátoru										
L _w	Hladina akustického výkonu zdroje	0	66	72	78	84	80	84	81	72	89
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
L _w	součet	3	66	72	78	84	80	84	81	72	89
D _p	Přirozený útlum										
	rovné potrubí [m]	3	0	0	2	1	0	0	0	0	
	oblouk [ks]	4	0	0	0	0	4	8	12	12	
	Útlum koncovým odrazem	14	9	5	2	0	0	0	0	0	
	útlum tlumič hluku 1	0	3	6	10	20	25	28	24	18	
	útlum tlumiče hluku 2										
L _{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	0	54	60	65	60	47	44	44	41	67
L _{vy}	Hladina akustického výkonu vy- ústky										67
K	Korekce na počet vyústek							počet vyús- tek:	1	0	
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek										70
Q	směrový činitel										2
r	vzdálenost od vyústky k poslu- chači										22
A	pohltivá plocha místnosti	plocha všech povrchů míst- nosti (m ²)						pohltivost (-)		0,1	0
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače										35
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti										45

Přehled zvolených tlumičů:

Pro útlum hluku byly zvoleny tlumiče od firmy Multivac. Tlumiče jsou obdélníkové s vnitřními kulisy pro pohlcení hluku. Délka jednotlivých tlumičů je 1 m, proto abych docílil požadovaného útlumu, bylo nutné v některých případech tlumiče zdvojit.

Tabulka 22: Přehled zvolených tlumičů

ZAŘÍZENÍ Č. 1									
	název tlumiče								
	hlukový útlum tlumiče [dB]								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
přívod	tlumič hluku obdélníkový Multivac TH-800×500, délka 1m, 2ks								
	0	3	6	11	22	27	30	26	21
odvod	tlumič hluku obdélníkový Multivac TH-800×500, délka 1m, 2ks								
	0	3	6	11	22	27	30	26	21
sání	vyhoví bez tlumiče hluku								
výtlak	tlumič hluku obdélníkový Multivac TH-800×500, délka 1m, 1ks								
	0	3	6	11	22	27	30	26	21
ZAŘÍZENÍ Č. 2									
	název tlumiče								
	hlukový útlum tlumiče [dB]								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
přívod	tlumič hluku obdélníkový Multivac TH-600×350, délka 1m, 2ks								
	0	3	6	11	22	27	30	26	21
odvod	tlumič hluku obdélníkový Multivac TH-600×350, délka 1m, 2ks								
	0	3	6	11	22	27	30	26	21
sání	vyhoví bez tlumiče hluku								
výtlak	tlumič hluku obdélníkový Multivac TH-600×350, délka 1m, 1ks								
	0	3	6	11	22	27	30	26	21

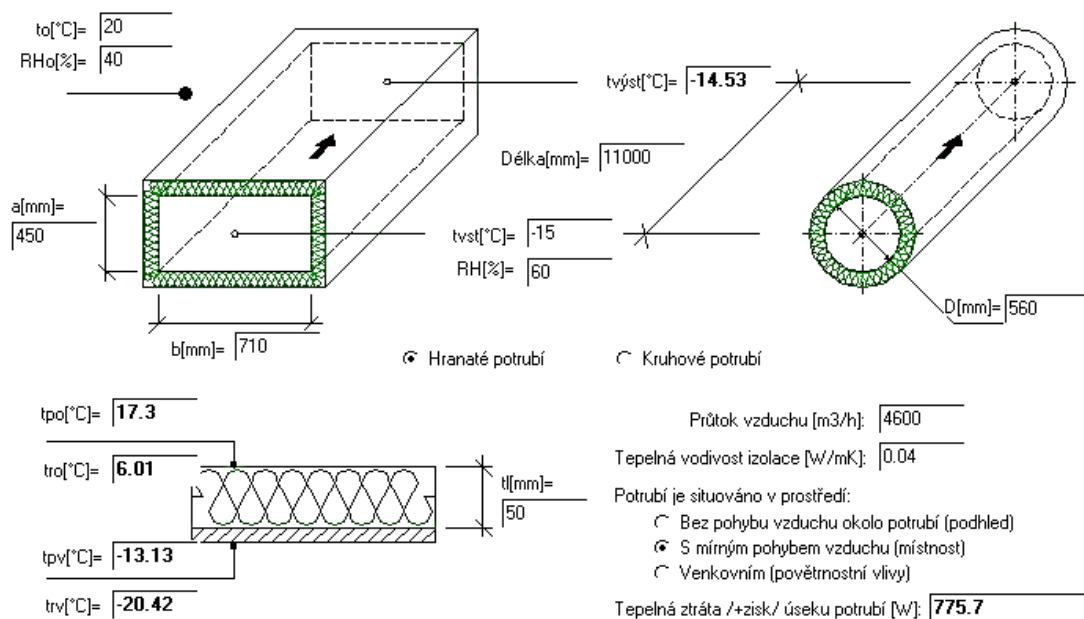
4.10 Návrh tepelné izolace

Návrh tepelné izolace bude proveden pro extrémní variantu v zimním období při exteriérové teplotě $t_e = -15\text{ °C}$ pro nejdelší a největší potrubí.

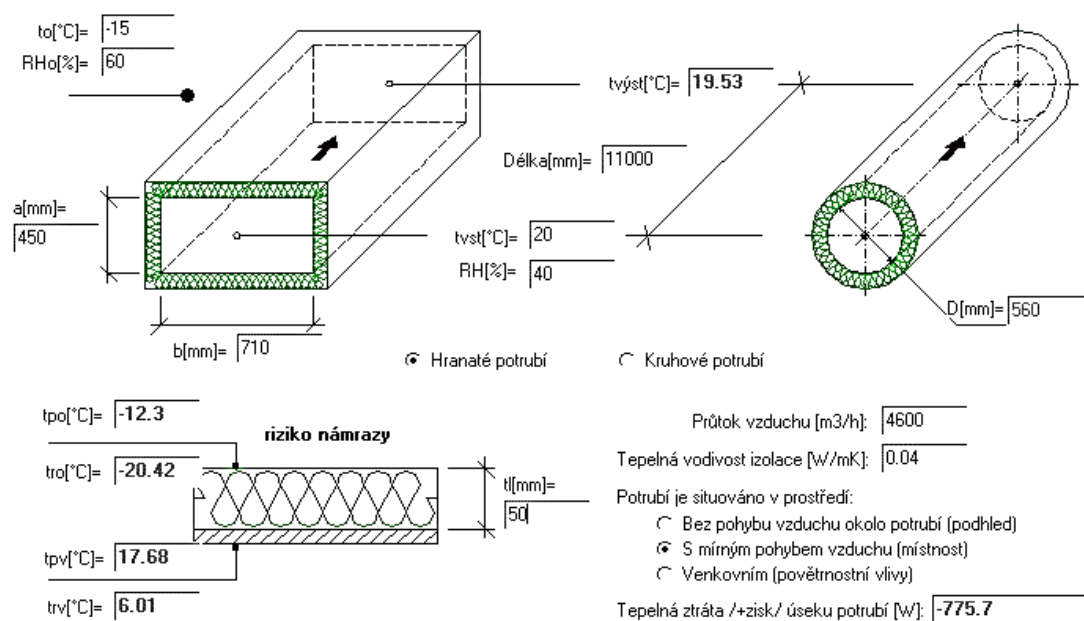
Izolování se bude provádět na sání do jednotky a výtlaku z jednotky. Na přívodní a odvodní potrubí není tepelná izolace nutná, protože přiváděný vzduch má stejnou teplotu jako teplota interiéru.

U zařízení č. 2 budou izolovány všechny trouby, které se nacházejí v nevytápěném prostoru půdy.

Tepelná izolace bude použita od firmy Isover s obchodním názvem Orsotech LSP H. Jedná se o lamelový skružovatelný pás z kamenné vlny s kolmou orientací vláken na hliníkové fólii. Výpočet proveden v programu TeRuNa.



Obrázek 25: Návrh tepelné izolace potrubí pro zařízení č. 1



Obrázek 26: Návrh tepelné izolace potrubí pro zařízení č. 2

5 TECHNICKÁ ZPRÁVA

5.1 Úvod

V této projektové dokumentaci je vypracován návrh vzduchotechniky pro Základní a mateřskou školu v Javornici.

5.1.1 Podklady pro zpracování

Podkladem pro zpracování projektové dokumentace byly výkresy půdorysů, stavebních řezu a pohledů. Součástí podkladů jsou také zákony a prováděcí vyhlášky. Dále pak byly použity české technické normy a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení:

- Vyhláška č. 343/209 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých
- Nařízení č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Vyhláška č. 6/2003 Sb. kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- ČSN 73 0872 Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením
- REMAK a.s. – podklady výrobce
- System air a.s. – podklady výrobce
- Mandík a.s. – podklady výrobce
- Příhoda s. r. o. – podklady výrobce
- Multi-Vac s. r. o. – podklady výrobce

5.1.2 Výpočtové hodnoty klimatických poměrů

Místo stavby:	Javornice (okr. Rychnov n. Kn.)
Nadmořská výška:	400 m. n. m.
Výpočtová teplota vzduchu:	léto: +29 °C, zima: -15 °C
Relativní vlhkost vzduchu:	léto: 40 %, zima: 70 %

5.1.3 Výpočtové hodnoty vnitřního prostředí

Vzduchotechnika zajišťuje větrání tříd. VZT přivádí čerstvý vzduch na jedné straně učeben a odvádí na druhé, co nejdál od sebe, aby došlo k správnému provětrání. Jedná se pouze u nucené větrání, takže jednotky nepokrývají tepelné ztráty v zimním období a tepelné zisky v letním. Tepelné ztráty objektu pokrývá stávající ústřední vytápění. Tepelná zátěž se strojně neodstraňuje, částečně ji eliminuje tepelná akumulace budovy a žaluzie. Provoz zařízení je tedy uvažován jen pro zimní provoz. Rychlost vzduchu v pobytové zóně nepřekročí 0,25 m/s. Vzhledem k charakteru obsluhovaného prostoru není

uvažováno s provozem zařízení v noční době. Provoz zařízení se uvažuje od 7:30 hod do 15:30 hod.

místnost	výsledná teplota (°C)		relativní vlhkost (%)		hladina akust. tlaku (dB/A)
	zima	léto	zima	léto	
učebna	22 ±2	28	45	45	45

5.2 Základní koncepční řešení

Prostory učeben jsou koncipovány v rovnotlakém systému, třída MŠ I je navržena jako přetlaková do hygienického zařízení (m. č. 2.2.4), kde je navržen podtlak. Vlhčení vzduchu je uvažováno parním zvlhčovačem. U rozvodu do tříd jsou instalované klapky pro regulaci. Regulace VZT je zajišťována samostatnými MaR. Jednotky pro větrání tříd jsou umístěny v m. č. 0.1.10 – strojovna VZT a na půdě v m. č. 3.3.1. Místnosti s trvalým malým nebo žádným počtem osob (kabinety, sklady apod.) jsou nadále větrány přirozeně okny.

5.2.1 Hygienické větrání a klimatizace

Větrání jako celek je navrženo v rovnotlaku pro všechny jednotky:

- dávka venkovního vzduchu na žáka v základní škole je 20 m³/h;
- dávka venkovního vzduchu na žáka v mateřské škole je 30 m³/h;
- dávka venkovního vzduchu na pořizovací předmět je 50 m³/h (WC), 30 m³/h (umyvadlo, 25 m³/h (pisoár), 25 m³/h (sprcha);
- rovnotlaké větrání je navrženo ve všech učebnách, krom 2.2.1, kde je přetlakové;
- u obou zařízení je použita jednostupňová filtrace stupně M5 na přívodu a G3 na odvodu;
- vytápění všech místností zajistí ústřední vytápění

5.2.2 Energetické zdroje

Elektrická energie:

Elektrická energie je uvažována pro pohon elektromotorů VZT, 3NPE 400 V, 50 Hz.

Tepelná energie:

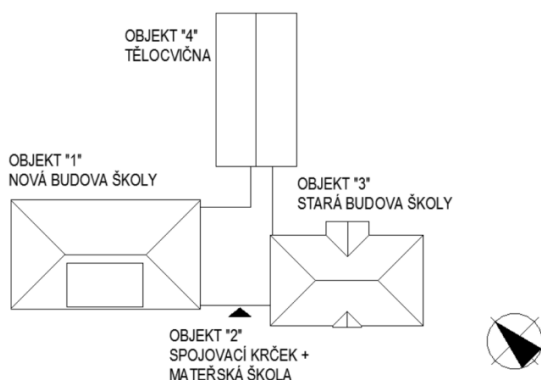
Ohřev vzduchu ve výměnících VZT jednotek bude pokryt kotlem na tuhá paliva pro ústřední vytápění s teplotním spádem 70/40 °C.

5.3 Popis technického řešení

5.3.1 Koncepce větracích a klimatických zařízení

Navržená VZT zařízení budou zajišťovat nucené větrání vybraných prostorách objektu základní a mateřské školy. Dávka čerstvého vzduchu byla stanovena dle legislativních požadavků na vnitřní mikroklima. VZT jednotky jsou umístěny ve strojovnách ve vnitřním prostředí. Potrubí bude použito s hranatým i kruhovým průřezem a bude zhotoveno z pozinkovaného plechu. Potrubí vedoucí od jednotek do vnějšího prostředí bude tepelně izolováno.

Jako distribuční elementy budou na odvodním potrubí použity obdélníkové vyústky do kruhového potrubí. Přívodní elementy se uvažují textilní kruhové vyústky s mikroperforací.



5.3.2 Zařízení č. 1 – větrání učeben v objektu č. 1 a č. 2

Nucené větrání se zpětným získáváním tepla je navrženo na přívod a odvod vzduchu pro místnosti nové budovy školy a mateřské školy. Zařízení je navrženo v horizontálním provedení nad sebou a je umístěno na podlaze ve vnitřním prostředí strojovny. V případě potřeby bude jednotka dohřívat vzduch vodním ohřívačem. Rozvody jsou realizovány kruhového tvaru ze SPIRO potrubí do objektu, na sání a výtlač je použito hranatého potrubí. Sání a výtlač je proveden do fasády. V učebnách jsou všechna potrubí odkrytá, přiznaná. Na chodbách bude zřízen SDK podhled. Systém je vzhledem k prostorům navržen jako rovnotlaký. Ovládání a regulaci zajistí profese MaR (blíže samostatná kapitola).

Skladba jednotky:

Přívod: tlumicí vložka, klapka, filtr M5, deskový rekuperátor, eliminátor kapek, vodní ohřívač, parní zvlhčovač, ventilátor, tlumicí vložka

Odvod: tlumicí vložka, klapka, filtr G3, deskový rekuperátor, eliminátor kapek, ventilátor, tlumicí vložka

5.3.3 Zařízení č. 2 – větrání učeben v objektu č. 3

VZT jednotka je totožná se zařízením č. 1 vyjma umístění. Zařízení č. 1 je umístěno na nevyužívané půdě objektu č. 3. Sání a výtlak je proveden na střechu objektu.

5.4 Nároky na energie

K zajištění chodu větracích zařízení je třeba zabezpečit následující zdroje energií, viz tabulka zařízení.

5.5 Měření a regulace

Navržené systémy VZT budou řízeny a regulovány samostatným systémem měření a regulace – profese MaR:

- ovládání chodu ventilátorů, silové napájení ovládaných zařízení;
- regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodního ohříváče v zimním období vlečná regulace (směšování);
- umístění teplotních a vlhkostních čidel podle požadavku;
- protimrazová ochrana deskového výměníku nastavováním obtokové klapky;
- ovládání uzavíracích klapek na jednotce včetně dodání servopohonů;
- protimrazová ochrana teplovodního výměníku;
- signalizace bezporuchového chodu ventilátorů pomocí diferenčního snímače tlaku; plynulá regulace výkonu ventilátorů frekvenčními měniči na přívodu i odvodu vzhledem k zanášení filtrů a možnosti nastavení vzduchového výkonu zařízení podle potřeby provozu a časového rozvrhu;
- snímání a signalizace zanesení filtrů;
- poruchová signalizace;
- snímání signalizace chodu, poruchy a zapnutí a vypnutí.

5.6 Nároky na související profese

5.6.1 Stavební úpravy

- Rozdělení stávající místnosti dílen v objektu č. 1 na strojovnu a dílny, vyzdění příčky minimální požadovanou požární odolností, osazení protipožárních dveří.
- Vybourání dvou stávajících výplňových otvorů v dílnách, následné obezdění výtlačného a sacího potrubí s možností zmenšit nové okno, aby nedošlo k zhoršení světelných podmínek v dílnách.
- Posun dveří z m. č. 0.1.8 do m. č. 0.1.9.
- Zazdění dveří z m. č. 0.1.10 do m. č. 0.1.11.
- Zřízení nosné konstrukce na vazné trámy na půdě v objektu č. 3.
- Rozšíření stávajícího střešního výlezu a vybudování revizní lávky k sání a výtlaku zařízení č. 2.

- Výdřevy na upevnění potrubí na půdě objektu č. 3 – nutná koordinace mezi profesemi.
- Vytvoření prostupů pro vzduchovody o požadované světlosti potrubí + 50 mm, včetně zapravení a odklizení sutě.
- Zaklopení SDK podhledem chodby m. č. 2.1.4 včetně zřízení revizních otvorů k regulačním klapkám.
- Zaklopení SDK stoupacího VZT potrubí v m. č. 2.1.7 včetně revizního otvoru k stoupacímu potrubí.
- Posun umyvadla v m. č. 2.1.7.

5.6.2 Silová instalace

- Připojení VZT zařízení.
- Zajištění uzemnění zařízení a ochranu před zásahem elektrickým proudem.
- Napojení zařízení dle návodu výrobce.
- Napojení softwaru MaR s jednotlivými komponenty.

5.6.3 Zdravotechnika

- Odvedení kondenzátu z deskových výměníků VZT jednotek a parního zvlhčovače.
- V m. č. 0.1.10 – strojovna VZT natažení hydroizolační stěrky na podlahu a na stěny do výšky min. 300 mm.
- Zřízení plechové vany pod zařízení č. 2 na půdě pro případ havárie a jeho odvod do kanalizační sítě.
- Posun umyvadla v m. č. 2.1.7.

5.6.4 Vytápění

- Připojení vodních ohříváčů na centrální rozvod topné vody o teplotě 70/40 °C

5.7 Protihluková a protiotřesová opatření

- Do potrubí budou umístěny tlumiče hluku pro zamezení šíření nadměrného hluku.
- Budou umístěny na potrubí do místnosti i na potrubí do venkovního prostředí s výjimkou sání vzduchu z exteriéru.
- VZT jednotky budou pružně uloženy a potrubí k nim bude připojeno přes tlumící vložky.

5.8 Izolace a nátěry

- Použita bude tepelná izolace ISOVER ORSTECH LSP . Potrubí do exteriéru u zařízení č. 1 a č. 2 bude izolováno tloušťkou 50 mm.

- U zařízení č. 2 budou izolovány i vzduchovody do interiéru v prostorách půdy pro zamezení kondenzace. Dále u zařízení č. 2 bude izolována nadstřešní část potrubí včetně jeho oplechování jako opatření proti povětrnostním vlivům.

5.9 Protipožární opatření

- Do rozvodů procházejících požárními dělícími konstrukcemi budou vsazeny protipožární klapky.

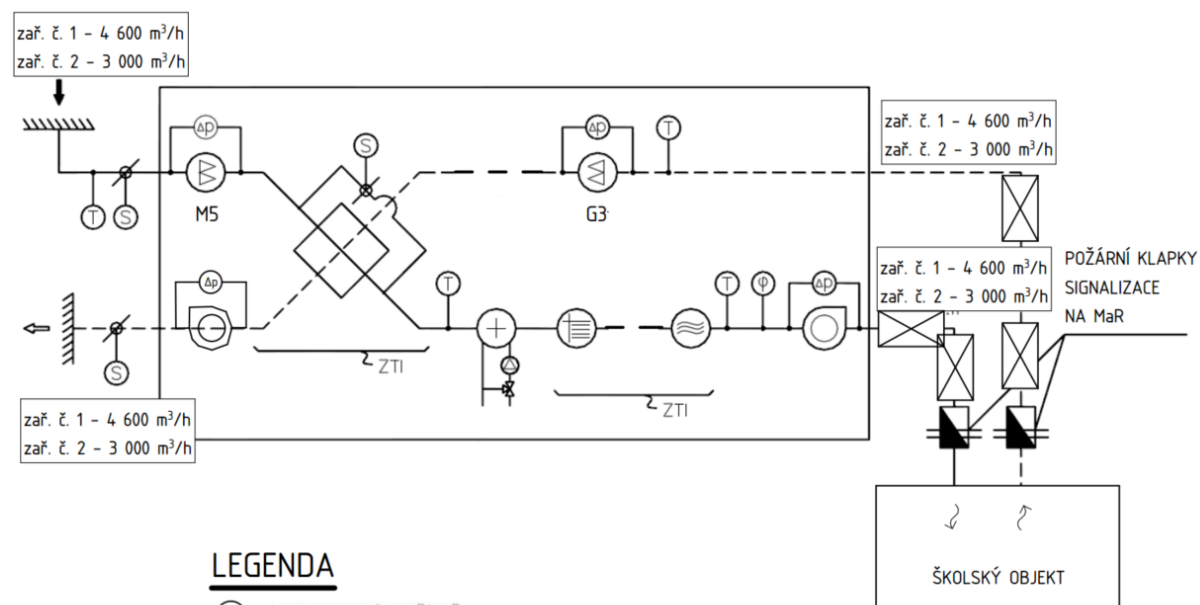
5.10 Montáž, provoz, údržba a obsluha zařízení

- Montáž jednotlivých prvků ve VZT jednotce se musí provádět podle návodu výrobce.
- Při prvním puštění je dobré provést kontrolu a seřízení jednotlivých částí. Obsluha musí být kvalifikovaná a být seznámena se VZT jednotkami, aby se předešlo chybám a haváriím.
- Údržba musí být prováděna pravidelně a to podle předpisů od výrobce.

5.11 Závěr

- Realizovaná VZT zařízení nuceného větrání splňují požadavky na vnitřní mikroklima, hlukové parametry a hospodárnost.

5.12 Funkční schéma zařízení č. 1 a č. 2



LEGENDA

	ELEKTRICKÝ OHŘÍVAČ		PŘÍVOD VZDUCHU
	VENTILÁTOR		ODVOD VZDUCHU
	TLUMIČ		
	FILTR		
	TEPLOTNÍ ČIDLO		
	SNÍMAČ TLAKU		
	AKČNÍ ČLENY		
	POŽÁRNÍ KLAPKA		
	SNÍMAČ VLHKOSTI		

5.13 Tabulka místností

	Číslo místnosti	Název místnosti	Plocha [m²]	Světlá výška [m]	Objem místnosti [m³]	Dávka vzduchu na žáka [m³/h]	Požadavky [m³/h]		Výměna vzduchu [x/h]	Přívod [m³/h]	Odvod [m³/h]
							počet žáků	ostatní			
	Zařízení č. 1 - budovy 1+2										
1.PP	0.1.8	Učebna jazyková	55,4	2,8	155,0	20	12	vyučující 50m³/h	1,9	290	290
1.NP	1.1.4	Družina/jazyková uč.	42,0	3,3	138,7	20	16	vyučující 50m³/h	2,7	370	370
	1.1.2	PC učebna	57,2	3,3	188,8	20	24	vyučující 50m³/h	2,8	530	530
2.NP	2.1.8	Učebna	59,1	3,25	192,1	20	25	vyučující 50m³/h	2,9	550	550
	2.1.9	Učebna	35,8	3,25	116,2	20	18	vyučující 50m³/h	3,5	410	410
	2.1.7	Učebna	59,0	3,25	191,8	20	25	vyučující 50m³/h	2,9	550	550
	2.1.6	Učebna	58,6	3,25	190,3	20	25	vyučující 50m³/h	2,9	550	550
	2.1.5	Učebna	58,6	3,25	190,3	20	25	vyučující 50m³/h	2,9	550	550
	2.2.1	Třída MŠ I	112,7	2,5 - 3,05	316,4	30	25	vyučující 50m³/h	2,5	800	
	2.2.4	Společné WC + umývárny	43,6	2,5 - 2,75	123,1	WC 8×50m³, umyv. 10×30m³, PISOár 2×25m³, sprcha 2×25m³			6,5		800
									suma	4600	4600
	Zařízení č. 2 - budova 3										
1.NP	1.3.6	Učebna 1	57,9	3,85	222,8	20	25	vyučující 50m³/h	2,5	550	550
	1.3.8	Učebna 2	58,8	3,5	205,8	20	25	vyučující 50m³/h	2,7	550	550
2.NP	2.3.1	Třída MŠ II	120,8	3,65	440,8	30	25	vyučující 50m³/h	1,8	800	800
	2.3.3	Učebna	57,1	3,85	219,9	20	25	vyučující 50m³/h	2,5	550	550
	2.3.4	Učebna	59,4	3,85	228,7	20	25	vyučující 50m³/h	2,4	550	550
									suma	3000	3000

5.14 Tabulka zařízení

Zařízení č.	Základní a mateřská škola Javornice	Přívod/Odvod	Ventilátor			Elektrická energie			Ohřev		
			Množství vzduchu	Externí tlak	Počet	Elektrický příkon jednotky	Elektrický proud jednotky	Napětí/frekvence	Topný výkon	Průtok topné vody	Tlaková ztráta výměníku
			m ³ /h	Pa	ks	kW	A	V/Hz	kW	m ³ /h	kPa
1											
1.01.	AeroMaster XP 06										
	Přívodní ventilátor	P	4 600	712	1	2,85	6,39	400 V/50 Hz			
	Odvodní ventilátor	O	4 600	685	1	2,56	4,81	400 V/50 Hz			
	Vodní ohříváč	P	4 600						25,1	0,61	2,4
	Rekuperátor ZZT	P/O	4 600								
	Parní zvlhčovač	P	4 600			26,3		400 V/50 Hz			
2											
2.01.	AeroMaster XP 04										
	Přívodní ventilátor	P	3 000	922	1	2,07	4,59	400 V/50 Hz			
	Odvodní ventilátor	O	3 000	700	1	1,74	4,59	400 V/50 Hz			
	Vodní ohříváč	P	3 000						17,3	0,5	3
	Rekuperátor ZZT	P/O	3 000								
	Parní zvlhčovač	P	3 000			18,8		400 V/50 Hz			

5.15 Položková specifikace

Zařízení č. 1				
Ozn.	Výrobce	Popis	Jednotka	Množství
1.01	Remak	Sestavná jednotka VZT s deskovým rekuperátorem, vodním ohřivačem, filtrací vzduchu M5 na přívodu a G3 na odvodu, pružnými manžetami; vnitřní provedení	ks	1
1.02	Multivac	Tlumič hluku obdélníkový Multivac TH-800×500, délka 1m	ks	5
1.03	Multivac	Protidešťová žaluzie PDZ-Z-800x500	ks	2
1.04	Elektrodesign	Kruhové požární klapky CR2 Ø560 se servopohonem a termoelektrickým aktivačním zařízením	ks	2
1.05	Elektrodesign	Kruhové požární klapky CR2 Ø315 se servopohonem a termoelektrickým aktivačním zařízením	ks	2
1.06	Mandík	RKKM Regulační klapka kruhová s ručním ovládáním Ø200	ks	2
1.07	Mandík	RKKM Regulační klapka kruhová s ručním ovládáním Ø225	ks	2
1.08	Mandík	RKKM Regulační klapka kruhová s ručním ovládáním Ø250	ks	6
1.09	Příhoda	Textilní kruhová vyústka, délka 4 000 mm, Ø200	ks	2
1.10	Příhoda	Textilní kruhová vyústka, délka 5 000 mm, Ø225	ks	1
1.11	Příhoda	Textilní kruhová vyústka, délka 6 000 mm, Ø225	ks	1
1.12	Příhoda	Textilní kruhová vyústka, délka 4 500 mm, Ø250	ks	3
1.13	Příhoda	Textilní kruhová vyústka, délka 6 000 mm, Ø250	ks	3
1.14	Mandík	VNKM Vyústka pro kruhové potrubí s regulací R1 625×85	ks	1
1.15	Mandík	VNKM Vyústka pro kruhové potrubí s regulací R1 1025×85	ks	2
1.16	Mandík	VNKM Vyústka pro kruhové potrubí s regulací R1 1225×85	ks	5
1.17	Mandík	VNKM Vyústka pro kruhové potrubí s regulací R1 1225×125	ks	1
1.18	Systém air	Dveřní mřížka NOVA-D-2-600×400-UR1-ELOX	ks	1
1.19	Multivac	Záslepka DR k zaslepení SPIRO potrubí Ø200	ks	2
1.20	Multivac	Záslepka DR k zaslepení SPIRO potrubí Ø225	ks	2
1.21	Multivac	Záslepka DR k zaslepení SPIRO potrubí Ø250	ks	5

1.22	Multivac	Záslepka DR k zaslepení SPIRO potrubí Ø315	ks	1
1.23	Lindab	Přechodka z kruhového Ø560 -> 800/500	ks	2
1.24	Lindab	Přechodka 700/650 -> 630/350	ks	4
	Lindab	kruhové potrubí		
		Ø200/30 % tvar. Dílů	bm	38
		Ø225/20 % tvar. Dílů	bm	10
		Ø250/40 % tvar. Dílů	bm	48
		Ø315/60 % tvar. Dílů	bm	69
		Ø355/30 % tvar. Dílů	bm	12
		Ø400/10 % tvar. Dílů	bm	5
		Ø450/30 % tvar. Dílů	bm	12
		Ø500/30 % tvar. Dílů	bm	30
		Ø560/40 % tvar. Dílů	bm	8
		čtverhrané potrubí		
		800×500 mm	bm	18
	Isover	ISOVER ORSTECH LSP 50 mm	m²	48

Zařízení č. 2

Ozn.	Výrobce	Popis	Jednotka	Množství
2.01	Remak	Sestavná jednotka VZT s deskovým rekuperátorem, vodním ohřívačem, filtrací vzduchu M5 na přívodu a G3 na odvodu, pružnými manžetami; vnitřní provedení	ks	1
2.02	Multivac	Tlumič hluku obdélníkový Multivac TH-600×350, délka 1m	ks	5
2.03	Klimat shop	VOL - výfukový oblouk 630/350	ks	2
2.04	Elektrodesign	Kruhové požární klapky CR2 Ø450 se servopohonem a termoelektrickým aktivačním zařízením	ks	2
2.05	Elektrodesign	Kruhové požární klapky CR2 Ø315 se servopohonem a termoelektrickým aktivačním zařízením	ks	2
2.06	Mandík	RKKM Regulační klapka kruhová s ručním ovládáním Ø250	ks	4
2.07	Mandík	RKKM Regulační klapka kruhová s ručním ovládáním Ø315	ks	1
2.08	Příhoda	Textilní kruhová vyústka, délka 4 000 mm, Ø250	ks	1
2.09	Příhoda	Textilní kruhová vyústka, délka 6 000 mm, Ø250	ks	1
2.10	Příhoda	Textilní kruhová vyústka, délka 8 000 mm, Ø250	ks	2

2.11	Příhoda	Textilní kruhová vyústka, délka 9 000 mm, Ø315	ks	1
2.12	Mandík	VNKM Vyústka pro kruhové potrubí s regulací R1 1225×85	ks	4
2.13	Mandík	VNKM Vyústka pro kruhové potrubí s regulací R1 1225×125	ks	1
2.14	Multivac	Záslepka DR k zaslepení SPIRO potrubí Ø250	ks	4
2.15	Multivac	Záslepka DR k zaslepení SPIRO potrubí Ø315	ks	1
2.16	Lindab	Přechodka z kruhového Ø450 -> 630/350	ks	2
2.17	Lindab	Přechodka 700/650 -> 630/350	ks	4
	Lindab	kruhové potrubí		
		Ø250/60 % tvar. Dílů	bm	28
		Ø315/60 % tvar. Dílů	bm	46
		Ø400/10 % tvar. Dílů	bm	1
		Ø450/40 % tvar. Dílů	bm	15
		čtverhrané potrubí		
		600×350 mm	bm	22
	Isover	ISOVER ORSTECH LSP 50 mm - včetně oplechování	m ²	16
	Isover	ISOVER ORSTECH LSP 50 mm	m ²	57

6 ZÁVĚR

Experimentální měření koncentrací CO_2 ve dvou učebnách na Základní a mateřské škole v Javornici potvrdilo moji prognózu zhoršení vnitřního mikroklimatu učeben po rekonstrukci výplňových otvorů. Je nutné, aby se pro alespoň částečnou eliminaci odeřové zátěže častěji větralo přirozeně okny. Levnější variantou řešení tohoto problému by byl nákup měřičů koncentrací CO_2 , které by při překročení limitní koncentrace vydaly zvukový signál a vyučující by krátkodobě intenzivně vyvětrali. Toto řešení však není komfortní jak pro vyučující, kteří by se proměnili spíše v otvírače oken, tak i pro žáky, které by obtěžoval nepříjemný průvan studeného vzduchu.

Nejvhodnějším řešením, co se týče zdravého vnitřního mikroklimatu učeben, by byla instalace řízeného větrání pomocí vzduchotechnických jednotek. Je ovšem nutné zvážit ekonomické hledisko řešení. Systém vzduchotechniky vyžaduje vysokou počáteční investici, následnou pravidelnou údržbu a i provoz stojí nemalé peníze.

Ekonomická návratnost této investice je sice nízká, nicméně zastávám názor, že vytváření zdravějšího prostředí pro výchovu a vzdělávání budoucích generací by mělo být přednější, než snahou o vysokou ekonomickou návratnost do energetických opatření objektů pro výchovu a vzdělávání dětí.

Výsledkem této bakalářské práce je projektová dokumentace pro návrh vzduchotechnického řešení. Navrhl jsem tedy dvě vzduchotechnická zařízení, které zajistí požadovanou výměnu vzduchu ve vybraných částech objektu po většinu školního roku.

Zařízení č. 1 obsluhuje levou a střední část objektu a je umístěno v suterénu. Zařízení č. 2 zajišťuje výměnu vzduchu v pravé části objektu a nachází se na nevyužívané půdě. Potrubí je navrženo z kruhových spiro potrubí.

Vzduchotechnika byla vyprojektována tak, aby nenarušovala vyučování či relaxaci dětí.

Práce byla zpracována podle aktuálních příslušných zákonů, vyhlášek, norem a podkladů výrobců.

7 SEZNAM CITOVANÝCH ZDROJŮ

BIBLIOGRAFIE

- [1] ACH, Jiří. *Cellkový přehled problematiky školního mikroklimatu*. Praha: Technická správa pro výstavbu při ministerstvu školství, 1972.
- [2] ZMRHAL, Vladimír. *Větrání rodinných a bytových domů*. Praha: Grada, 2014, 96 s. ISBN 978-80-247-4573-2.
- [3] RUBINOVÁ, Olga a Aleš RUBINA. *Klimatizace a větrání*. Šlapanice: ERA, 2004, 117 s. ISBN 80-86517-30-6.
- [4] CIHELKA, J. a kol.: *Vytápění a větrání*, SNTL Praha 1975
- [5] GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. 2.vyd. Praha: ERA, 2007, 262 s. ISBN 9788073660918.
- [6] VAFEK, Zdeněk. Možnosti měření oxidu uhličitého - měřicí přístroje a čidla. *Vytápění, větrání, instalace*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2015, **24**(2), 4.
- [7] DRKAL, František a Vladimír ZMRHAL. *Větrání*. Praha: ČVUT, 2013, 160 s. ISBN 978-80-01-05181-8.
- [8] DUFKA, Jaroslav. *Větrání a klimatizace domů a bytů*. 2. přeprac. vyd. Praha: Grada, 2005, 128 s. ISBN 80-247-1144-3.
- [9] ŠVADLENKOVÁ, Radka. *Problematika syndromu nemocných budov (SBS) v pracovním prostředí kancelářských prostor v Českých Budějovicích, zdravotní důsledky a možnosti prevence*. České Budějovice, 2010. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Mudr. Marie Nosková.
- [10] JOKL, Miloslav V. *Teorie vnitřního prostředí budov*. Praha: ČVUT, 2011, 205 s. Dostupné také z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/TVPB/Teorie_vnitriho_prostredi.pdf

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [11] Historie a současnost větrání. In: *ISOZ - Institut solárního ohřevu pro zdraví, z.ú.* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://isoz.cz/archiv-zajimavosti/detail=historie-a-soucasnost-vetrani>
- [12] DOLEŽÍLKOVÁ, Hana. *Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu* [online]. In: . 2010 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu>
- [13] ZMRHAL, Vladimír. *Stanovení střední radiační teploty (I)* [online]. In: . 2006 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3072-stanoveni-stredni-radiazni-teploty-i>

- [14] CENTNEROVÁ, Lada. *Tepelná pohoda a nepohoda* [online]. In: . 2000 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [15] RUBINOVÁ, Olga a Aleš RUBINA. *Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka* [online]. In: . 2005 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>
- [16] ŠUBRT, Roman. *Mikroklima ve veřejných budovách jako důvod instalace rekupera* [online]. In: . s. 109 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.e-c.cz/index.php?page=download>
- [17] Earth System Research Laboratory. *National oceanic and atmospheric administration* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>
- [18] Kritický milník ve změně klimatu: V dubnu 2014 poprvé neklesla koncentrace CO₂ pod 400 ppm. *Solární novinky.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?home/2014050701/kriticky-milnik-ve-zmene-klimatu-v-dubnu-2014-poprve-neklesla-koncentrace-co2-pod-400-ppm#.VzYqZeRy75k>
- [19] *Record annual increase of carbon dioxide observed at Mauna Loa for 2015* [online]. 2016 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.noaa.gov/record-annual-increase-carbon-dioxide-observed-mauna-loa-2015>

VYHLÁŠKY A NORMY

- [20] Vyhláška č. 343/2009 Sb., kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. 2009. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-343>
- [21] Předpis č. 268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby. 2009. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>

8 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obrázek 1: Požadavky na větrání obytných budov v různých zemích EU	14
Obrázek 2: Faktory podílející se na tvorbě mikroklimatu	15
Obrázek 3: Izolace souborů oblečení v jednotkách clo	17
Obrázek 4: Rozložení teplot těla při nízké a vysoké teplotě	20
Obrázek 5: Molekula oxidu uhličitého	21
Obrázek 6: Orientační graf potřeby vzduchu v závislosti na fyzické činnosti	21
Obrázek 7: Max von Pettenkofer	22
Obrázek 8: Rozdíl koncentrací CO ₂ mezi dubnem 2015 a dubnem 2016	24
Obrázek 9: Měřič Lutron MCH 383SD	27
Obrázek 10: Učebna č. 1, foto č. 1	27
Obrázek 11: Učebna č. 1, foto č. 2	28
Obrázek 12: Učebna č. 2, foto č. 1	28
Obrázek 13: Učebna č. 2, foto č. 2	28
Obrázek 14: Schéma školského objektu	38
Obrázek 15: Jižní pohled na objekt	38
Obrázek 16: Západní pohled na objekt	39
Obrázek 17: Severní pohled na objekt	39
Obrázek 18: Severovýchodní pohled na objekt	39
Obrázek 19: Schéma větrání infiltrací	41
Obrázek 20: Schéma okenního otvoru v typické učebně	42
Obrázek 21: Diagram tlakové ztráty a akustického výkonu jednořadé vyústky	47
Obrázek 22: Návrh textilních vyústek	49
Obrázek 23: Technické parametry a schéma zařízení č. 1	53
Obrázek 24: Úprava vzduchu pro zimní období pro zařízení č. 1	54
Obrázek 25: Návrh tepelné izolace potrubí pro zařízení č. 1	64
Obrázek 26: Návrh tepelné izolace potrubí pro zařízení č. 2	64

Tabulky

Tabulka 1: Doporučené dávky vzduchu dle vyhlášky č. 343/2009	13
Tabulka 2: Celoročně přípustné parametry mikroklimatických podmínek	13
Tabulka 3: Srovnání požadavků v minulosti a dnes	14
Tabulka 4: Izolace jednotlivých součástí oblečení v jednotkách clo	18
Tabulka 5: Závislost produkce tepla od lidí	19
Tabulka 6: Vliv koncentrací CO ₂ na lidský organismus	24
Tabulka 7: Produkce CO ₂ člověkem při různé aktivitě	40

Tabulka 8: Navržené průtoky vzduchu	46
Tabulka 9: Navržené odvodní výústky.....	48
Tabulka 10: Navržené přívodní výústky	50
Tabulka 11: Návrh větracích mřížek do dveří.....	50
Tabulka 12: Dimenzování zařízení č. 1	51
Tabulka 13: Dimenzování zařízení č. 2.....	52
Tabulka 14: Útlum hluku přívodního potrubí pro zařízení č. 1	55
Tabulka 15: Útlum hluku odvodního potrubí pro zařízení č. 1	56
Tabulka 16: Útlum hluku sacího potrubí pro zařízení č. 1	57
Tabulka 17: Útlum hluku výtlačného potrubí pro zařízení č. 1	58
Tabulka 18: Útlum hluku přívodního potrubí pro zařízení č. 2	59
Tabulka 19: Útlum hluku odvodního potrubí pro zařízení č. 2.....	60
Tabulka 20: Útlum hluku sacího potrubí pro zařízení č. 2.....	61
Tabulka 21: Útlum hluku výtlačného potrubí pro zařízení č. 2	62
Tabulka 22: Přehled zvolených tlumičů.....	63

Grafy

Graf 1: Průměrné podíly jednotlivých složek na stavu interního mikroklimatu	15
Graf 2: Dlouhodobé měření koncentrací CO ₂ na sopce Mauna Loa	23
Graf 3: Měření CO ₂ na sopce Mauna Loa v letech 2012-2016	23
Graf 4: Faktory prostředí, které lidé pociťují v interiéru budov	26
Graf 5: Průběhy koncentrací CO ₂ v malé učebně před rekonstrukcí.....	29
Graf 6: Průběhy koncentrací CO ₂ v malé učebně po rekonstrukci	30
Graf 7: Průběhy koncentrací CO ₂ ve velké učebně před rekonstrukcí	31
Graf 8: Průběhy koncentrací CO ₂ ve velké učebně po rekonstrukci	32
Graf 9: Průměrné hodnoty koncentrací CO ₂ v pracovních dnech	33
Graf 10: Průměrné hodnoty relativní vlhkosti v pracovních dnech.....	34
Graf 11: Průměrné hodnoty vnitřní teploty v pracovních dnech	35
Graf 12: Závislost potřebné doby otevření jednoho okna pro výměnu celého požadovaného vzduchu na venkovní teplotě	44
Graf 13: Závislost potřebné doby otevření tří oken pro výměnu celého požadovaného vzduchu na venkovní teplotě	45

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

- CO₂ – oxid uhličitý
EU – Evropská unie
MaR – měření a regulace
m. č. – místnost číslo
MŠ – mateřská škola
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (Národní úřad pro oceán a atmosféru)
SBS – syndrom nemocných budov
SDK – sádkartón
SRN – Spolková republika Německo
VZT – vzduchotechnika, vzduchotechnické
ZŠ – základní škola
ZZT – zpětné získávání tepla, rekuperace

Fyzikální veličiny

- c – rychlost zvuku [m/s]
clo – jednotka tepelné pohody [-]
d – průměr [m]
D – útlum koncovým odrazem [dB]
f – frekvence [Hz]
m – produkce CO₂ dýcháním [ppm]
M_l – vodní zisky od osob [g/h]
obj – objemových jednotek
ppm – parts per million – částic na jeden million
R – tepelný odpor [m²K/W]
r_h – relativní vlhkost [%]
t_a – teplota suchého teploměru, také teplota vzduchu [°C]
t_g – teplota kulového teploměru [°C]
U_w – součinitel prostupu okna celého okna [W/m²K]
V – objem vzduchu [m³/h]
v_a – rychlost proudění [m/s]
V_s – objem škodlivin [m³]
x/h – násobná výměna vzduchu
Δx – odvlhčení vzduchu [g/kg]
ρ_{max} – koncentrace CO₂ v přiváděném vzduchu do místnosti [ppm]

SEZNAM PŘÍLOH

P1	TEXTILNÍ VYÚSTKY PRO PŘÍVODNÍ POTRUBÍ
P2	ZAŘÍZENÍ Č. 1
P3	ZAŘÍZENÍ Č. 2
P4	1.PP, 1.NP - DIMENZAČNÍ SCHÉMA
P5	2.NP, 3.NP - DIMENZAČNÍ SCHÉMA
P6	PŮDORYS 1.PP - BUDOVA Č. 1, ŘEZ A-A'
P7	PŮDORYS 1.NP - BUDOVA Č. 1
P8	PŮDORYS 1.NP - BUDOVA Č. 3
P9	PŮDORYS 2.NP - BUDOVA Č. 2, 3, ŘEZ B-B', C-C', D-D'
P10	PŮDORYS 2.NP - BUDOVA Č. 3, ŘEZ D-D'
P11	PŮDORYS 3.NP - BUDOVA Č. 3, ŘEZ E-E'

PŘÍLOHY